



Unione Europea  
Fondo Sociale Europeo



Ministero dell'Istruzione  
dell'Università e della Ricerca



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PALERMO

# Facoltà di Agraria

---

DIPARTIMENTO DI SISTEMI AGRO AMBIENTALI

DOTTORATO DI RICERCA IN:  
"TECNOLOGIE PER LA SOSTENIBILITÀ  
ED IL RISANAMENTO AMBIENTALE"  
XXII CICLO

UN MODELLO DI SISTEMA SERRA  
SOSTENIBILE A CICLO CHIUSO PER IL  
TERRITORIO RAGUSANO

Tesi di dottorato di:  
Amanda Campodonico

Tutor e Coordinatore:  
Ch.mo Prof. Giuseppe Alonzo

co-Tutor:  
Dott. Carlo Alberto Campiotti

---

**Anno Accademico 2007/2008**  
**Tesi afferente al settore scientifico disciplinare AGR/13**

DOTTORATO DI RICERCA COFINANZIATO DA  
Fondo per il sostegno dei giovani e per favorire la mobilità degli studenti  
D.M. 23 ottobre 2003 prot. N. 198/2003



## RINGRAZIAMENTI

Un sincero ringraziamento va a tutti coloro che, in momenti diversi e in vari modi, mi hanno prestato il loro apporto e il loro sostegno nella realizzazione di questo lavoro. In primo luogo desidero ringraziare il prof. Giuseppe Alonzo, tutor di questa tesi, per la grande disponibilità e cortesia dimostratemi sempre, ma soprattutto per l'opportunità datomi.

Un sentito ringraziamento va al Dott. Carlo Alberto Campiotti, co-tutor della tesi, per avermi introdotta in questo progetto, per avermi consigliato durante tutto il lavoro, per la sua schiettezza ed ironia e per l'entusiasmo dimostratomi.

Un grazie sincero al Prof. Francesco Claudio Campione, per me un riferimento fondamentale il suo contributo di "fisica tecnica".

Un ringraziamento a tutti i colleghi del laboratorio, nonostante sia stata definita "la sbavatura del corso" non mi hanno mai fatto sentire fuori posto, sono stati più amici che semplici colleghi:

Maria, Roberta, Nunzia, Elisa, Anna, Farid, Valentina, Rita e Filippo.

Un grazie speciale va alla mia famiglia e a mio marito, per avermi supportata, incoraggiata ed amata sempre e comunque. Grazie a quella parte del mio cuore che non c'è più: mia madre.

Ma soprattutto grazie a mio figlio per il semplice fatto di esistere che mi ha motivato.

# INDICE

§	PREMESSA	pag. 6
§	INTRODUZIONE	pag. 7
§	CAPITOLO I - STATO DELL'ARTE	pag. 11
	I. La geografia del territorio ragusano	pag. 12
	I.1.1 Il suolo	pag. 13
	I.1.2 L'acqua	pag. 13
	I.1.3 L'aria	pag. 14
	I.2 Tipologia di serre presenti nel territorio ragusano	pag. 14
	I.2.1 Fattori ambientali interni alla serra	pag. 17
	I.2.2 I tipi di coltivazione	pag. 17
	I.2.3 la filiera di produzione	pag. 17
	I.3 Impatto ambientale delle serre sul territorio	pag. 22
	I.3.1 Approvvigionamento delle acque	pag. 24
	I.3.2 Consumi energetici	pag. 24
	I.3.3 Rifiuti	pag. 24
	I.4 Paesaggio e pianificazione territoriale	pag. 25
-	CAPITOLO II - MATERIALI E METODI	pag. 28
	II.1 Descrizione del prototipo sperimentale	pag. 30
	II.1.1 Colture floating system	pag. 31
	II.1.2 vantaggi e svantaggi delle colture floating system	pag. 34
	II.1.3 Produzione di IV gamma	pag. 35
	II.1.4 Il sistema di fertirrigazione automatizzato	pag. 36
	II.1.5 Trattamento nutritivo	pag. 37
	II.1.6 Monitoraggio dei parametri ambientali interni ed esterni	pag. 38
	II.2 Fasi di campionamento	pag. 39
	II.2.1 Campionamento delle colture (lactuca sativa e spiancia oleracea)	pag. 40
	II.2.2 Preparazione dei campioni	pag. 41
-	CAPITOLO III - RISULTATI E DISCUSSIONI	pag. 42
	III.1 Il sistema fotovoltaico	pag. 43
	III.2 La produttività delle colture	pag. 45
	III.3 Sistemi di fertirrigazione	pag. 46



-	CAPITOLO IV – DEFINIZIONE DEGLI SCOPI E DEGLI OBIETTIVI – FASE	
	PROGETTUALE	pag. 47
	IV.1 Oggetto di studio	pag. 49
	IV.2 Approccio e confini della ricerca – I fase di analisi	pag. 50
	IV.2.1 La temperatura	pag. 51
	IV.2.2 Umidità relativa	pag. 52
	IV.2.3 Anidride carbonica	pag. 52
	IV.2.4 Intensità della radiazione	pag. 53
	IV.2.5 Ciclo produttivo	pag. 54
	IV.2.6 Riutilizzo d'acqua piovana captabile	pag. 57
	IV.2.7 Impianto di fitodepurazione	pag. 58
	IV.3 II Fase: il progetto	pag. 59
	IV.3.1 Specifiche tecniche: dimensionamento	pag. 59
	IV.3.2 Tipologia strutturale	pag. 60
	IV.3.3 Materiali impiegati nella struttura	pag. 61
	IV.3.4 Componentistica ipotizzata	pag. 61
	IV.3.5 Specifiche tecniche	pag. 62
	IV.3.6 Esigenze ergonomiche colturali	pag. 63
	IV.3.7 Caratteristiche termo fisiche ed effetto serra	pag. 63
	IV.3.8 Dimensionamento di massima dell'impianto FV	pag. 65
	IV.4 III Fase: Iter autorizzativo in Sicilia per le serre FV	pag. 70
	IV.5 Analisi costi-benefici	pag. 72
	IV.6 Sintesi del progetto proposto	pag. 73
	IV.7 Risultati attesi	pag. 74
	IV.8 Innovazione del progetto proposto	pag. 75
-	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	pag. 76
-	BIBLIOGRAFIA	pag. 79
-	ALLEGATI	pag. 85
-	TAVOLE	pag. 98

## PREMESSA

Tra le regioni italiane, la Sicilia (Trapani, Agrigento, Caltanissetta e Ragusa), rappresenta circa il 40% della superficie nazionale di coltivazione in serra con oltre 9.000 ettari<sup>1</sup>, con in primo luogo la provincia di Ragusa con 5000 ettari. Tale filiera non ha ancora maturato un piano di sviluppo futuro in grado di mantenere elevata la competitività nel settore, che si trova attualmente priva di innovazione tecnica, tecnologica, colturale ed ambientale. L'osservazione nasce dallo studio delle diverse serre presenti nel territorio ibleo in cui sono state messe in evidenza le carenze dell'attuale sistema agro-serricolo ibleo.

Le normative europee, tendono a favorire l'introduzione dell'innovazione tecnologica, di processo e di prodotti a basso impatto ambientale, caratterizzati da sicurezza ed igiene alimentare, e per contrastare la precarietà del costo (ambientale ed economico) dell'energia tradizionale invita ad impiegare energie provenienti da fonti rinnovabili.

L'affermazione di una serricoltura avanzata, come di altri settori agricoli in genere, é legata alla capacità di perseguire una politica agricola che sia in grado non solo di valorizzare la qualità dei prodotti, ma anche di facilitare ed accelerare il cambiamento tecnologico, di orientare la ricerca e la sperimentazione e di promuovere un trasferimento della tecnica in modo qualificato tra gli operatori del settore.

---

<sup>1</sup> Fonte ENEA 2009



## INTRODUZIONE

---

La proposta nasce dall'osservazione dell'urgenza di una sempre maggiore aderenza delle tecniche costruttive, dei materiali, dei consumi energetici a quelle che sono le esigenze di un bilancio ambientale positivo.

Il dibattito sulle nuove tecnologie per la produzione di energia alternativa da fonti rinnovabili o meno, conseguente alle crisi energetiche e la definizione di tecnologie costruttive innovative, impegna in ricerche che non siano limitate solamente all'aggiornamento puro e semplice di quelle tecniche già note, ma vengono orientate al fine di individuare pratiche, materiali ed elementi costruttivi che presentino caratteristiche di "eco-compatibilità".

L'attenzione mondiale si sta sempre più focalizzando sul concetto di sviluppo sostenibile: progredire cioè su una strada che non impedisca alle generazioni future di soddisfare i propri bisogni.

Tutto ciò in funzione di una visione ecologica ma, soprattutto "integrale" della progettazione e delle tecniche di climatizzazione di sistemi che concorrono alla formazione di una più completa metodologia progettuale.

Il sistema agricolo della provincia ragusana è caratterizzato da una estesa serricoltura, nonostante la morfologia del suolo sia poco propensa alle coltivazioni, a causa di un clima a volte eccessivamente caldo e della scarsa disponibilità di acqua.

La proposta dello studio di ricerca si inserisce in un contesto di adattamento, di ottimizzazione e di controllo delle colture in ambiente protetto; nasce dall'osservazione dell'urgenza di una sempre maggiore aderenza delle tecniche costruttive, dei materiali, dei consumi energetici a quelle che sono le esigenze di un bilancio ambientale positivo, cercando di definire dei sistemi e dei processi in grado di garantire la conservazione delle risorse naturali e paesaggistiche.

La volontà è quella di migliorare la competitività del prodotto, concependo un sistema serra come un vero e proprio impianto industriale a ciclo chiuso in grado di assicurare qualità dei prodotti, standardizzazione produttiva, diversificazione e specializzazione varietale, in rispetto al contesto produttivo, climatico ed ambientale. In quest'ottica che si può avere l'opportunità di sviluppare nuovi mercati di nicchia per le coltivazioni in serra come ad esempio le piante officinali, utilizzando dei sistemi di coltivazioni fuori suolo.

Pertanto si propone una nuova tipologia di serra con una duplice funzione in grado di garantire allo stesso tempo sia una produzione agricola ottimale e sia produzione di energia elettrica in grado di risolvere il problema del forte consumo energetico necessario per le coltivazioni.



Energia elettrica prodotta da moduli fotovoltaici installati su copertura integrata, ed impiegata per autoalimentare i fabbisogni del sistema: impianti di climatizzazione, impianti di automazione per il controllo e la gestione dello stesso, impianti di irrigazione ed eventuali finestre di ventilazione etc.

All'interno di tale sistema verranno garantite particolari condizioni microclimatiche attraverso il corretto equilibrio tra illuminazione, temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria, ovvero tra l'adeguato irraggiamento interno nel periodo invernale ed una sufficiente protezione da eccessivo irraggiamento durante il periodo estivo.

In un tale sistema molteplici sono le variabili da considerare data la sua complessità, pertanto necessita di un approccio multidisciplinare in grado di garantire l'adempimento di un prodotto di qualità rispettoso dell'ambiente.

Per tal motivo è d'obbligo proporre un modello teorico affinché possano essere eseguite le sperimentazioni in maniera dettagliata e sistematica al fine di portare avanti un concreto e serio impegno.

La proposta di tale studio vuole rappresentare un momento di riflessione ed uno strumento di supporto per le scelte progettuali di costruzione e di gestione di strutture di sistemi serra sostenibili a basso impatto ambientale. I risultati verranno letti come informazione tecnica, tecnologica ed ambientale indicativa atti ad individuare degli ordini di grandezza per riuscire a definire orientamenti progettuali validi e consapevoli in relazione alle diverse situazioni geografiche.

La proposta di ricerca aspira a migliorare e a definire un sistema in grado di:

1. Potenziare la competitività delle imprese serricole, sempre più condizionata dalla disponibilità di sistemi serra concepiti come vero e proprio impianto industriale a ciclo chiuso in grado di assicurare qualità dei prodotti, standardizzazione produttiva, diversificazione e specializzazione varietale;
2. Sviluppare nuovi mercati di nicchia per le coltivazioni in serra, in chiave salutistica ed organolettica, quali ad esempio le piante officinali e le colture per il settore della nutriceutica;
3. Incrementare la qualità del prodotto, della Grande Distribuzione Organizzata (GDO), altamente standardizzato richiesto costantemente durante tutto l'arco dell'anno con caratteristiche qualitative superiori sia come qualità intrinseca (sapore, contenuto in zuccheri, colore) che come grado di pulizia (assenza di patogeni, di terreno e/o residui colturali);

4. Valersi delle tecnologie solari per la climatizzazione delle serre per contrastare la precarietà del prezzo dell'energia tradizionale e per rispondere positivamente alle direttive Europee sull'impiego delle energie rinnovabili;
5. Ricorrere all'utilizzo di standards di riferimento affidabili (blue-prints) rispetto alle caratteristiche tecniche, tecnologiche e culturali del settore delle colture protette per favorire lo sviluppo di tipologie di serre in accordo con i contesti tecnici, climatici e produttivi della Sicilia.





## STATO DELL'ARTE

Gli impianti serricoli lungo il territorio ibleo si distendono in un'ampia area che includono i comuni di Vittoria e Ragusa, giungono fino al litorale, abbracciando i comuni di Ispica, Scicli, Santa Croce Camerina (figura 1).

Il paesaggio, snaturato dalle attività antropiche ha mutato l'aspetto geomorfologico creato in assenza di un disegno di pianificazione logistica ed ha acquisito, nel tempo, quello dettato dall'uso industriale dell'agricoltura.

Gli agricoltori, a cui è implicitamente affidata la salvaguardia e la valorizzazione dell'area arabile del territorio nazionale, rappresentano qui i veri creatori del passaggio.



Figura 1- la provincia ragusana detta "delle 12 Terre": Ragusa, Modica, Pozzallo, Scicli, Ispica, Chiaramonte, Vittoria, Comiso, Santa Croce Camerina, Monterosso Almo, Acate, Giarratana.

### I.1 La geografia del territorio ragusano

Il territorio presenta in prevalenza un'area collinare, occupata quasi per intero dall'altopiano dei monti Iblei, la cui cima più alta, monte Lauro, raggiunge 986 m di altezza sul livello del mare.

Tuttavia non mancano le zone pianeggianti per lo più presenti nella fascia settentrionale del territorio, in corrispondenza della Valle dell'Ippari che comprende i comuni di Acate, Comiso e Vittoria e non a caso proprio in quest'area sono concentrate la maggior parte delle distese agricole.

### I.1.1 Il suolo

L'intero territorio, è per lo più di natura calcarea e si presenta arido e pietroso. La scellerata opera di disboscamento compiuta dall'uomo negli scorsi decenni, hanno privato il terreno della sua naturale umidità che unita alla scarsità delle piogge ha contribuito ad una pesante e carente situazione idrica.

### I.1.2 L'acqua

I corsi d'acqua presenti nel territorio sono pochi e brevi, quali: il fiume Acate o Dirillio lungo 53 km, ha le sue sorgenti ai piedi del monte Lauro; l'Ippari tra Comiso e Vittoria, con diverse sorgenti tra le più importanti la fonte di Diana che sfocia presso Scoglitti, nei pressi dell'antica Kamarina; l'Irminio, con sorgenti alle pendici del monte Lauro, presso Giarratana attraversa Ragusa e Modica sfociando nel canale di Sicilia.

Ma il contributo significativo dell'approvvigionamento idrico ragusano viene dalle dighe, sui fiumi Irminio (detta di S. Rosalia), Dirillo (presso Licodia Eubea) e Mazzarrone (presso Chiaramonte).

La gestione delle risorse idriche si colloca nel vasto panorama delle problematiche ambientali del territorio. Le amministrazioni quotidianamente affrontano problemi legati alle reti idriche, tra le questioni di maggiore interesse si annoverano:

- § discontinuità negli approvvigionamenti
- § inefficiente gestione delle reti di distribuzione
- § carenza di capacità di depurazione.

Attualmente sembra esserci una particolare attenzione rivolta verso la gestione delle risorse idriche desunti dal Piano di tutela delle acque della Sicilia e dal Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sicilia adottato con Delibera di Giunta Regionale del 22 settembre 2009 e previsto dalla Direttiva quadro sulle Acque (Direttiva 2000/60/CE).

Il Piano di Gestione rappresenta lo strumento operativo attraverso il quale si devono pianificare, attuare e monitorare le misure per la protezione, il risanamento e il miglioramento dei corpi idrici superficiali e sotterranei e agevolare un utilizzo sostenibile delle risorse idriche.

Per quanto concerne la qualità dell'acqua da dati rilevati dall'Ente ARPA Sicilia<sup>2</sup>, è stato messo in evidenza lo stato "ecologico dei corsi d'acqua"<sup>3</sup> derivante dagli impatti dei principali inquinanti di origine antropica provenienti da scarichi civili, industriali e zootecnici e da fonti

---

<sup>2</sup> ARPA Sicilia: Agenzia Regionale Protezione Ambiente della Sicilia.

<sup>3</sup> È definito sia in relazione ai parametri chimico-fisico di base al bilancio dell'ossigeno e dello stato trofico, che concorrono a formare l'indice L.I.M. (Livello di Inquinamento da Macroscrittori), sia in relazione alla composizione della comunità macrobentonica delle acque correnti I.B.E. (Indice Biotico Esteso)

diffuse, nonché dalle alterazioni fisiche e morfologiche dei corsi d'acqua che si riflettono sulla qualità delle acque, dei sedimenti e del biota.

Lo stato ecologico dei corsi d'acqua, relativamente alle stazioni di monitoraggio dell'ARPA nel territorio ibleo, ha rilevato il pessimo stato in cui versano i corsi d'acqua, fra i più inquinati di tutto il territorio siciliano. (Bibl. Annuario regionale dati ambientali 2008 – ARPA Sicilia – 1. Idrosfera – autori: P. Aiello, E. Nasta, M. Teletta, referente tematico: S. Cammarata)

### I.1.3 L'aria

Il clima è tipico mediterraneo con inverni piuttosto freddi ed estati calde e secche soprattutto nelle zone interne e sugli altipiani, divenendo più mite ed umido nel litorale per l'influenza del mare. (Bibl. Annuario regionale dati ambientali 2008 – ARPA Sicilia – 2. Atmosfera – Autori: G. Capilli, et al).

Il monitoraggio ed il controllo della qualità dell'aria costituiscono uno degli strumenti di conoscenza principale per la gestione e la valutazione della sua qualità. A questo occorre integrare la conoscenza relativa alle emissioni in atmosfera ed alla meteorologia.

Tuttavia nell'ultimo rapporto condotto da Legambiente (ecosistema urbano 2008 – XIV Rapporto sulla qualità ambientale dei comuni capoluogo di provincia) pone la provincia di Ragusa come fanalino di coda nella classifica italiana per qualità ambientale riferiti a: aria, acqua, suolo e rifiuti.

#### Dati climatici e dati geografici

Sup. 40,76 kmq

Hmas. 230 mlm

Zona altimetrica: collina litoranea

#### Clima

GG: 877

Zona climatica: B

#### Coordinate

Latitudine: 36°49'48"00 N

Longitudine: 14° 31' 39"36 E

Gradi decimali: 36, 9293; 14,718

Locator: JM76/W

[www.ragusa.it](http://www.ragusa.it)

## I.2 Tipologie di serre presenti nel territorio ragusano



All'alba degli anni '60 l'esplosione delle serre ragusane ha costituito uno dei fenomeni di vivacità più singolari dell'intera agricoltura italiana. Ne è risultata una produzione prevalentemente orticola considerevole che ha comportato lo sviluppo di numerosi altri settori connessi alla filiera e che vanno dal commercio di sementi ed antiparassitari al materiale di copertura, agli impianti di refrigerazione fino ai trasporti.

I primi impianti serricoli insediatesi sul territorio ibleo sono costituiti da semplici strutture in legno con tetto a doppia falda di variabile dimensioni, concluse con le prime coperture in materiale plastico (fig. 2, 3) con lo scopo di accelerare la produzione di specie ortive di facile gestione pur mantenendo contenuti i costi. Fin da subito è stato raggiunto un buon livello di qualità del prodotto la cui disponibilità, si collocava al di fuori della consueta stagione di produzione.



Fig. 2, 3 – primi impianti serricoli con struttura lignea e copertura in materiale plastico

Tutto il processo produttivo necessitava di mano d'opera ed ha pertanto contribuito ad una sensibile diminuzione della disoccupazione locale. Da fonti ISTAT, nel 2005, nella provincia ragusana, erano impiegati nel settore primario circa 19.000 addetti, ovvero il 16,5% degli occupati in agricoltura della regione. Non si può fare a meno di notare tuttavia come lo sviluppo socio economico dell'area iblea sia stato ottenuto a discapito delle risorse naturali e della stessa fertilità del suolo.

Alcune stime riguardanti il 2008, circa la produzione lorda vendibile degli ortaggi, pongono Ragusa al secondo posto in Italia con 372 milioni di Euro (che rappresentano il 38,9% del prodotto siciliano ed il 5,4% della Produzione nazionale degli ortaggi), preceduta solo da Salerno (485 milioni di euro).

Il netto miglioramento qualitativo dei raccolti, avvenuto negli ultimi anni, è stato tuttavia accompagnato da una riduzione del numero delle aziende agricole e della superficie investita. Sulla base dei risultati del 5° Censimento dell'Agricoltura, nel 2000 il numero delle aziende agricole rilevate

sull'intero territorio provinciale, ha visto un declino dell'8,0% rispetto a quelle presenti nel 1990 mentre, nello stesso periodo la Superficie Agricola Utilizzata ha subito una flessione del 23%. Sempre nel 2000, il numero più consistente di aziende agricole si ritrova a Modica (3.822 aziende pari al 15% del dato provinciale), seguita da Vittoria (3.522), Chiaramonte Gulfi (3.481 unità) e Scicli (3.227) giungendo, tutte insieme, al 56% dell'intero apparato agricolo di Ragusa (Bibl. AA.VV., 2006).

Sotto il profilo costruttivo e formale le serre presenti nel territorio sono essenzialmente riconducibili a due tipologie:

- § A doppia falda, con falde simmetriche o asimmetriche (fig. 4);
- § A tunnel con volta semicircolare od ellittica (fig. 5).



Fig. 4 - particolare di serre di nuova generazione



Fig. 5 - panoramica di serre con volta semicircolare

Ulteriore distinzione viene fatta per il tipo di climatizzazione impiegato che solitamente è adottato in base al tipo di coltura praticata, pertanto vengono distinte:

- § serre fredde quando non sono climatizzate;
- § serre temperate quando vengono mantenute costantemente ad una temperatura tra i 10 °C e i 14 °C nelle ore notturne;
- § serre calde quando sono in grado di mantenere la temperatura notturna tra i 16 °C ed i 20 °C.

Si trovano serre singole o isolate, serre ad unica campata, accoppiate o gemellate dette serre a campata doppia senza parete divisorio, o multiple dette anche serre a batteria.

Negli ultimi anni le tipiche serre iblee stanno pian piano per essere soppiantate del tutto da altre tipologie più moderne, con strutture in acciaio sempre più articolate studiate per sopportare non solo il proprio peso, ma carichi accidentali quali possono essere neve e vento.

Le serre iblee presentano, oggi, materiali di copertura svariati riconducibili perlopiù al polietilene, film plastici rigidi quali polycarbonato, le resine poliesteri rinforzate e il policloruro di vinile (pvc) ed in ultimo, per serre a maggior reddito, il vetro.

In particolare negli ultimi anni, il polycarbonato ha avuto una notevole diffusione nelle coperture delle serre iblee, impiegato sia nelle serre a tunnel, in cui viene essenzialmente adoperata resina poliestere, sia a quelle a doppia falda. Ad oggi i materiali più diffusi per il rivestimento rimangono il polietilene e il pvc, nonostante la loro durata non vada oltre i dodici mesi, senza dimenticare che ancor oggi non è stato del tutto risolto il problema del loro smaltimento.

#### I.2.1 Fattori ambientali interni alla serra

Il controllo della temperatura e dell'umidità relativa, della luminosità ambientale e del ricambio dell'aria nella maggior parte delle serre, non essendo sufficiente l'effetto serra per garantire la temperatura si fa ricorso al riscaldamento artificiale che sembra essere indispensabile (Bibl. Piccarolo P.). Nelle serre più "avanzate" la climatizzazione è ottenuta generalmente con aerotermini, cioè generatori d'aria calda dotati di ventilatori o in casi più rari viene utilizzato un sistema di riscaldamento d'aria sospeso che insuffla aria calda in una tubazione in film plastico forato, anch'esso sospeso.

Per il riscaldamento del substrato di coltivazione si impiegano invece tubazioni in pvc posizionate all'interno dello stesso o sul fondo del bancale. Nella coltivazione a terra le tubazioni vanno interrate ad una profondità di 20-30 cm.

Nelle serre di ultime istallazione, prevedono nel periodo estivo per il forte effetto serra, condizioni combinate di ombreggiamento e ventilazione naturale o forzata, l'intero sistema operativo (teli-ombreggianti, aperture e chiusure meccanizzate, regolazione termica, etc.) viene gestito da computer.

#### I.2.2 I tipi di coltivazione

Fondamentalmente l'indirizzo colturale delle serre ragusane sono destinate a colture ordinarie impiegate perlopiù da piante da orto.

Le coltivazioni per la maggior parte sono su suolo a terra e vengono realizzate in banquette.

Il terreno della serra viene diviso in aree delimitate da lastre di cemento alte 20-30 cm in modo da creare letti di coltivazione di larghezza pari o superiore al metro. Tra un'area e l'altra vengono lasciate corsie di passaggio per agevolare le lavorazioni. Il substrato non è separato dal suolo. Un isolamento viene realizzato ponendo sul fondo un film di plastica e assicurando il drenaggio delle acque di irrigazione.

#### I.2.3 La filiera di produzione

Ragusa presenta oggi centinaia di ettari di apprestamenti serricoli (figura 6, 7, 8, 9) in cui si realizza una produzione, che interessa l'intero anno, di pomodori, melanzane, zucchine, ed in misura minore altri ortaggi.

La filiera produttiva iblea (tabella 1a, 1b), in particolare quella ragusana, è caratterizzata da una elevata specializzazione delle coltivazioni di ortaggi freschi, con un calendario di offerta che può arrivare a coprire tutti i mesi dell'anno, resa possibile dalla padronanza della tecnica di coltivazione in ambiente protetto.

In uno stesso anno, le colture possono essere ripetute o alternate con specie diverse sia riferendosi a coltivazioni di ortaggi sia ad apprezzate specie floricole. Va sottolineato che queste ultime (con colture di garofano e bulbose quali gladiolo, lillium etc.) sono presenti nel territorio con 333 ha, ossia il 62% dell'intera superficie floricola isolana.



Fig. 6, 7, 8, 9 – foto panoramiche degli apprestamenti serricoli presenti sul territorio ragusano

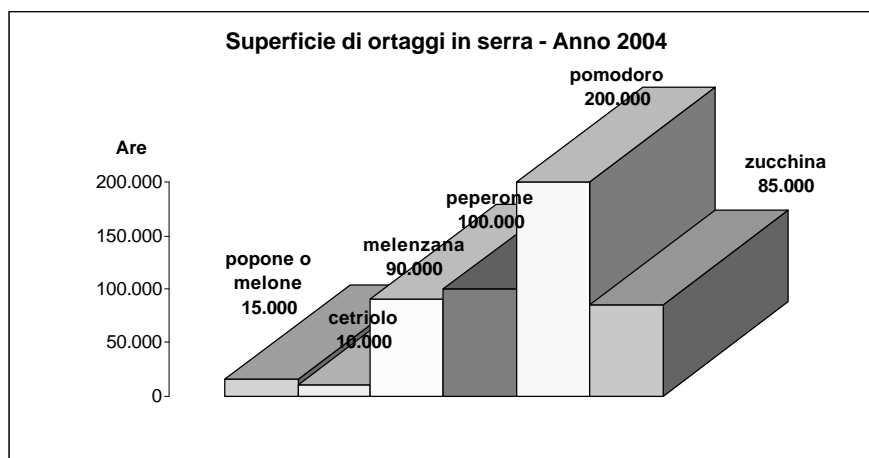


Tabella 1a

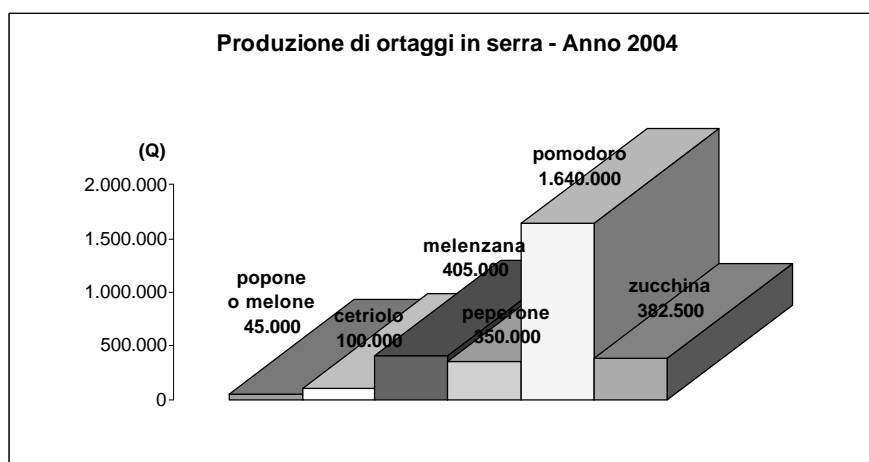


Tabella 1b

Le colture su citate, insieme ad altre meno rappresentative, sono presenti sul mercato durante tutto l'anno; solo durante alcuni brevi periodi, la produzione avviene anche all'aperto.

La specie maggiormente prodotta in serra è il pomodoro per il quale sono possibili i seguenti cicli colturali:

1. trapianto fine ottobre inizio novembre con raccolta a marzo-giugno;
2. trapianto febbraio con raccolta a maggio-luglio;
3. trapianto agosto con raccolta novembre-gennaio.

Il periodo produttivo dalle maggiori rese unitarie (fino a 12 t/ha) è quello compreso nell'arco temporale tra novembre e giugno.

Il ciclo colturale che va da febbraio a luglio, ha una enorme potenzialità produttiva, ma va incontro ad un peggioramento qualitativo e quindi ad un conseguente deprezzamento.



La produzione del ciclo estivo-autunnale risulta essere meno proficua delle precedenti poiché l'allegagione, che si verifica tra la fine dell'estate e l'inizio dell'autunno, ovvero quando la temperatura dell'aria è ancora elevata, è spesso incompleta, mentre l'ingrossamento e la maturazione vengono ostacolati dai bassi livelli termici della fine dell'autunno e dell'inverno (rese unitarie fino a 5-7 t/ha).

I cicli produttivi del peperone e delle melanzane pur essendo simili a quello del pomodoro, si differenziano per la fase vegetativa che richiede, in genere, un periodo più lungo.

Altro tipo di coltura ampiamente diffusa è quella della zucchina che viene avviata in novembre con possibilità di raccolta sino a primavera inoltrata (rese unitarie fino a 3-4 t/ha). Nonostante si possa avere ancora una quota di produzione nel periodo immediatamente successivo, viene tuttavia meno la qualità del prodotto a causa di molteplici fattori fra i quali è possibile annoverare: la diminuita disponibilità di acque irrigue, la vulnerabilità ad attacchi di parassiti, etc.

La commercializzazione della produzione ragusana è contraddistinta da una elevata frammentazione dovuta alla mancata messa in atto di estesi meccanismi associativi che in modo sinergico potrebbero orientare e gestire tale aspetto. La commercializzazione avviene dunque nei mercati locali presso i quali affluisce la maggior parte della produzione orticola isolana. Questi sono localizzati nelle aree di intensa produzione quali: Vittoria, Donnalucata di Scicli, S. Croce Camerina e, limitatamente all'area siracusana, nella zona di Pachino. Altre figure commerciali coinvolte nella filiera sono, ad esempio, le agenzie di spedizione, operanti quasi esclusivamente nel ragusano, e le imprese associative e commerciali individuali e/o societarie.

La commercializzazione del prodotto risente fortemente e negativamente della mancanza di idonee infrastrutture viarie, ferroviarie ed aeroportuali. Per tal motivo, le Aziende si rivolgono preferenzialmente al mercato interno escludendo di fatto una concreta apertura ai mercati esteri.

La spedizione del prodotto avviene quasi esclusivamente con mezzi gommati che, paradossalmente, risulta più conveniente rispetto ad altri per il fatto di consentire tempi di consegna più veloci e quindi di conferire un prodotto più fresco.

È chiaro che, finché non verranno superate tali carenze, il prodotto siciliano non potrà raggiungere i grandi centri di consumo europei in tempi sufficientemente rapidi ed a costi ragionevoli (Bibl. Caruso P. et al 1992).

### I.3 Impatto ambientale di un sistema serra

In quest'ottica che si pone l'interesse per l'impiego di energie rinnovabili nei sistemi di produzione vegetale (alimentare e non) in colture protetta (sistemi serra). Tale interesse nasce



dall'osservazione dei fabbisogni energetici, per il mantenimento dei parametri climatici ottimali all'interno di un sistema serra, utilizzando, per il riscaldamento: 5-7 kg/m<sup>2</sup>/anno per i Paesi del Mediterraneo fino a 60-80 kg/m<sup>2</sup>/anno per i Paesi del Nord Europa di derivati del petrolio.

Considerando che in Italia il 40% delle serre sono permanenti, con una superficie di circa 30.000 ha, dotate di sistemi di riscaldamento artificiale, hanno un'incidenza media sui consumi di energia per la climatizzazione artificiale del 20-30%, con aumenti anche fino al 50% sui costi totali di produzione. È chiaro che in un anno il consumo complessivo sia di circa 250.000 Tep/anno, oltre ad un consumo elettrico non inferiore a 10.000 Tep/anno; inoltre volendo considerare il costo ambientale di tale incidenza, abbiamo che ad ogni kg di gasolio sono associate almeno 0,45 kg di emissioni di CO<sub>2</sub><sup>4</sup>.

La GDO<sup>5</sup>, spinge la serricoltura, che rappresenta il fornitore principale del sistema dei prodotti vegetali dell'industria agro-alimentare, verso l'adozione di tempi e flussi produttivi di tipo industriale, con richiesta di prodotti di qualità e standard elevati per 12 mesi l'anno.

Tuttavia, bisogna fare i conti anche con i consumi energetici indiretti, ovvero quelli relativi ai materiali di struttura e copertura, si stima che in ogni m<sup>2</sup> di plastica e di vetro utilizzati, siano incorporati (embody energy = energia incorporata nei materiali<sup>6</sup>) rispettivamente circa 10-12.000 Kcal e 70.000-80.000 Kcal.

In particolare l'impiego di materiale plastico più del vetro, riferito alla copertura di serre per l'orticoltura è in continuo aumento. Si stima comunque che per le colture protette in Italia ogni anno si consumano circa 80.000 tonnellate di plastica; notevoli sono i problemi legati al materiale di scarto di questo tipo, mentre il suo costo è sempre più in aumento a causa del caro petrolio.

A fronte dell'assenza di un Piano Energetico-Economico Regionale in Sicilia, si cerca di individuare, nei principi di sostenibilità ambientale il principale obiettivo da raggiungere, orientandosi verso una maggiore efficienza del sistema energetico, coinvolgendo sia la struttura economica produttiva sia territoriale e urbanistica, che tecnico-innovativo.

---

<sup>4</sup> Dati forniti da: Atti di Convegno, C. A. Campitoli, R. Balducci, G. Alonzo, P. Aiello, "Le rinnovabili per le colture protette", 24 Luglio 2007 Palermo;

<sup>5</sup> Grande Distribuzione Organizzata;

<sup>6</sup> Per mezzo di questo parametro, l'energia incorporata (embody energy), si è in grado di quantificare i carichi diretti ed indiretti, cioè l'energia incorporata nella gestione dei materiali ovvero il consumo energetico necessario per la loro produzione. Per quantificare il consumo energetico di un edificio nel suo complesso, basterà sommare tutti gli apporti energetici necessari dalla costruzione allo smaltimento sulla valutazione del bilancio energetico, che prende in considerazione:

$$E_r = E_i + E_{pe} + E_g + E_d - E_r$$

dove:

E<sub>i</sub> = energia incorporata nei materiali da costruzione (embody energy);

E<sub>pe</sub> = energia assorbita dal processo di edificazione;

E<sub>g</sub> = energia consumata durante l'esercizio;

E<sub>d</sub> = energia necessaria per l'eventuale demolizione;

E<sub>r</sub> = energia dei materiali riciclati (energy memory).

I sistemi serra per le sue peculiarità derivanti non solo dal processo produttivo ma anche dalle caratteristiche costruttive, esercitano una consistente pressione sull'ambiente. Uno degli aspetti di maggiore criticità è certamente il destino della matrice suolo all'interno della serra.

La Carta delle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia<sup>7</sup> mettono in evidenza come sia concreta la possibilità di desertificazione del suolo su cui insistono estesi sistemi serricoli. Il fenomeno della desertificazione tende ad interessare porzioni di territorio in cui, attività umane quali il disboscamento, lo sfruttamento eccessivo o, in taluni casi, l'abbandono dei suoli portano a processi di impoverimento e degradazione della componente organica del terreno tale da comprometterne la capacità produttiva.

### I.3.1 Approvvigionamento delle acque

Uno dei contributi maggiori per l'approvvigionamento delle acque viene dal Dirillo, fiume che nasce dai monti Iblei, in territorio di Vizzini e sfocia dopo 53 Km nel Canale di Sicilia nei pressi di Gela, è in grado di soddisfare circa il 60% del fabbisogno idrico della provincia di Ragusa. Altro contributo deriva da pozzi poco profondi dislocati lungo la costa e negli avvallamenti tettonici scavati nel massiccio ibleo.

Per i diversi cicli colturali, i consumi idrici non presentano grosse differenze. In media sono stati stimati 4500 m<sup>3</sup>/ha per le colture a ciclo estivo-autunno-invernale, 3000 m<sup>3</sup>/ha per quelle a ciclo autunno-vernino-primaverile mentre per le altre specie ortive con ciclo colturale tra settembre e marzo sono stati calcolati consumi idrici stagionali di 3.750 m<sup>3</sup>/ha.

La quasi totalità degli agricoltori si sta attrezzando con impianti destinati al recupero delle acque piovane con lo scopo di creare una vantaggiosa riserva idrica che garantisca una maggiore disponibilità della risorsa nei periodi della secca. La raccolta delle acque avviene in contenitori interrati o in recipienti posti all'esterno e la distribuzione è effettuata mediante elettropompa o per gravità. In tal modo si tenta di dare risposta al sentito problema della tutela delle riserve idriche del sottosuolo ed al modo di sfruttarle intelligentemente riducendo gli sprechi e contribuendo allo sforzo comune di fronteggiare le carenze storiche dell'intera Regione per quanto riguarda la disponibilità di risorse idriche destinate soprattutto all'agricoltura.

Recentemente, l'Ente di Bonifica e Tutela del Territorio che opera nel ragusano facendosi carico della distribuzione e tutela dell'acqua attraverso opere di bonifica e pianificazione dell'uso e riuso delle acque. Tra le attività dell'Ente vi è inoltre lo sviluppo della rete irrigua finalizzata alla

---

<sup>7</sup> contributo apportato dalla Regione Siciliana in seno al progetto "RETELAB" ("Rete sovranazionale di laboratori ambientali e multifunzionali")

crescita della produzione agricola. Vengono attuati ancora programmi per la conservazione, valorizzazione e tutela del suolo e di salvaguardia dell'ambiente.

L'utilizzo dell'acqua sarà per il futuro uno dei principali problemi da gestire. Per dare un'idea, in tabella 3 sono riportati i litri di acqua necessari per produrre 1Kg di sostanza secca di diversi alimenti:

Alimento	lt/kg di S.S.
Patate	500
Frumento	900
Pomodoro	1.000
Riso	2.000
Bovini	>20.000

Tabella 3: Litri di acqua per Kg di sostanza secca  
Fonte: OECD<sup>8</sup>, 1999.

Da sondaggi fatti sul campo ci si è resi conto che le aziende agricole, difficilmente conoscono la quantità di acqua utilizzata.

Esiste un parametro di misura dell'efficienza di utilizzo dell'acqua WUE (Water Use Efficiency) che ci indica come utilizziamo al meglio l'acqua. Per es.: per produrre 1 Kg di sostanza secca di pomodoro in serra, con un eccellente utilizzo di acqua, occorrono 1.058 litri di H<sub>2</sub>O (tabella 4).

Pomodoro in serra		Pomodoro in pieno campo	
Gestione della coltura	lt/Kg.s.s.	Gestione della coltura	lt/Kg. s.s.
Eccellente	1.058	Eccellente	4.198
Medio	2.432	Medio	13.870

Tabella 4: lt di acqua per produrre 1 kg di s.s. di pomodoro Gestione ed interazione del clima in serra  
Fonte: Acta Horticulture, Cartagena, 2000

Una coltura in serra, rispetto alle medesima coltura in pieno campo, con i medesimi livelli di gestione, ha una migliore efficienza d'utilizzo dell'acqua, perché c'è meno dispersione di acqua per traspirazione.

<sup>8</sup> Organisation for Economic Cooperation and Development

### I.3.2 Consumi energetici

In Italia, i sistemi serra coprono una superficie di circa 30.000 ha. L'uso di sistemi di riscaldamento per l'atmosfera all'interno delle serre incide sui consumi di energia in ragione del 20-30%, con un aumento fino al 50% sui costi totali di produzione. In un anno, si calcola un consumo complessivo di circa 250.000 Tep<sup>9</sup>.

Sulla base delle statistiche ENEL, nel 2004 il settore primario ha richiesto nella Provincia ragusana 97,3 milioni di kWh, con una incidenza sul totale regionale del 24,4% (Bibl. Campiotti C. A. et al 2007).

Attualmente il comune di Ragusa si sta orientando verso la promozione dell'impiego di fonti energetiche rinnovabili, prevalentemente quella solare e quella eolica, da affiancare a quelle tradizionali basate sull'impiego di combustibili fossili, allo scopo di meglio preservare l'integrità del patrimonio paesaggistico e la sua fruizione pubblica. Recentemente, inoltre, la Sovrintendenza ai Beni Culturali ed Ambientali della Provincia di Ragusa ha inteso fissare alcune linee guida finalizzate ad un nuovo piano provinciale territoriale più consapevole ed ha coinvolto preliminarmente i sindaci di tutti i comuni iblei.

### I.3.3 Rifiuti

Per le colture protette, in Italia, ogni anno vengono impiegate circa 80.000 tonnellate di plastica con notevoli problemi derivanti dal riciclo a fine utilizzo, o all'eventuale loro conferimento in discarica.

Nelle coperture delle serre siciliane, il Polietilene (PE), è il materiale maggiormente utilizzato a causa della facile reperibilità, esso è infatti prodotto dalle industrie petrolchimiche di Priolo<sup>10</sup>, non lontano dal territorio ragusano.

Attualmente le aziende che si occupano di smaltire il Polietilene sono tre, costituite in consorzio<sup>11</sup> e operanti nella provincia di Ragusa. Si occupano del ritiro dei materiali al termine del loro ciclo di utilità con particolare riguardo a quelli di provenienza agricola, per avviarli al riciclaggio.

La Provincia Regionale di Ragusa, che ha competenza su vari aspetti del territorio provinciale, si è attivata per promuovere un Piano Territoriale per la raccolta, il trasporto il recupero e lo smaltimento dei rifiuti, nonché il controllo delle discariche e degli impianti di smaltimento. La gestione è quindi rivolta all'integrazione controllata delle quattro operazioni su

---

<sup>9</sup> Considerando che, il costo ambientale di tale incidenza per ogni kg di gasolio sono associate almeno 0,45 kg di emissioni di CO<sub>2</sub>

<sup>10</sup> Fa parte delle quattro aree industriali siciliane – Ragusa, Gela (CL), Priolo (SR), Milazzo (ME).

<sup>11</sup> Consorzio approvato dal Ministero dell'Ambiente di con il Ministero dell'Industria del Commercio dell'artigianato.

indicate, secondo criteri di responsabilizzazione e di cooperazione, al fine di assicurare una elevata protezione dell'ambiente.

#### I.4. Paesaggio e pianificazione territoriale

Da qualche anno il comune di Ragusa, in accordo con il governo regionale, ha intrapreso la pianificazione del recupero di alcune aree degradate all'interno del proprio territorio, proponendo azioni strategiche, programmate all'interno del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale.

Evidenziando le diverse trasformazioni subite dal territorio negli ultimi decenni e lo stato di degrado causato dalla forte e prorompente antropizzazione. Il Piano individua tre principali aree di intervento: l'area agro-silvo-pastorale, l'area urbanizzata e quella costiera. Le problematiche coinvolte nell'area agro-silvo-pastorale sono riconducibili alle trasformazioni nell'uso del suolo dovute soprattutto alla modernizzazione dell'agricoltura, alle forestazione produttiva, all'eccessivo sfruttamento del pascolo, all'abbandono dell'attività tradizionale.

In condizioni preoccupanti si trova l'area costiera in cui sono presenti fenomeni erosivi dovuti soprattutto allo sfruttamento del suolo e alla limitata conoscenza dei processi di modifica della costa, spontanei ed indotti dall'uomo, che si sono avuti negli ultimi decenni. A modificare l'habitat costiero ragusano, alterando l'equilibrio della costa, ha certamente contribuito la sostituzione della vegetazione spontanea e dei cordoni dunali conseguente ad opere infrastrutturali richieste per una più proficua utilizzazione della risorsa marina a cui occorre aggiungere diffuse opere di impermeabilizzazione dei suoli delle strutture serricole costruite a ridosso della battigia.

Appare chiara l'incompatibilità esistente nella fascia costiera tra le attività agricole in serra e l'interesse per il turismo, contrasto che si rende maggiormente evidente in alcuni periodi dell'anno corrispondenti alle attività di concimazione o della rifasciatura delle serre con materiale plastica.

Solo negli ultimi anni l'interesse per l'ambiente costiero ed il valore economico potenziale della spiaggia, stanno spingendo verso nuove ricerche in grado di proporre soluzioni per la difesa del litorale.

Tuttavia il Piano Territoriale mostra sicuramente la volontà, da parte delle istituzioni, di valorizzare le aree di pregio ambientale coinvolgendo i circuiti turistici e dei trasporti. L'obiettivo primario rimane dunque l'intenzione di creare riserve e parchi naturali, l'adozione di nuove pratiche colturali e l'avvio di una razionale forestazione basata sull'inserimento di specie autoctone.

Diversa la situazione nell'area montana in cui lo stato di degrado, dovuto principalmente al depauperamento delle terre seguito dal successivo abbandono per cessione delle attività agricole, è stato in taluni casi aggravato da interventi non idonei di forestazione.

A tal proposito il Piano Regionale di Sviluppo economico e sociale, P.R.S., per la provincia di Ragusa, manifesta una volontà di volersi occupare di diverse strategie di intervento a livello economico, territoriale, ambientale e sociale ma, altrettanto, di non avere gli strumenti attuativi per poterle concretizzare. Le proposte strategiche di pianificazione a livello provinciale, individuano delle macrozone in cui sia possibile attivare interventi coordinati che vadano dall'ampliamento di aree protette alla razionalizzazione del sistema turistico-ricettivo, alla tutela e valorizzazione dell'ambiente costiero e montano.

D'altra parte, è evidente che i problemi di cui soffre l'ambiente ragusano sono sostanzialmente riconducibili alla dicotomia tra la ricchezza di risorse derivante dallo sfruttamento del territorio e lo spreco ed il degrado che tale sfruttamento comporta<sup>12</sup>. Non è dunque semplice trovare soluzioni al problema ambientale che siano condivise dai diversi attori sociali.

Alla luce di quanto esposto nel Piano e nell'ambito dell'applicazione della Convenzione Europea del Paesaggio si stanno tentando di definire alcune modalità di controllo all'interno del territorio ibleo secondo un approccio integrato che riconosca il paesaggio come chiave interpretativa. Si pone l'obiettivo d'individuare le funzioni attribuibili alle aree rurali del contesto ibleo che siano compatibili con i suoi valori identitari, alla luce del nuovo corso delle politiche europee, nazionali e regionali ed alla consapevolezza di volersi orientare verso una visione paesaggistica dei luoghi. La finalità è quella di voler produrre degli esiti programmatici che possano trovare riscontro all'interno del redigendo Piano Paesistico, in linea con le indicazioni della Convenzione Europea del paesaggio che sancisce il diritto delle popolazioni interessate a contribuire in modo attivo alla costituzione dei propri paesaggi.

Questi temi sono stati discussi durante il Workshop<sup>13</sup> internazionale, in cui è stato possibile mettere a fuoco alcune proposte di assetto paesaggistico-ambientale del territorio ragusano.

Proprio in questo contesto si è manifestata la reale volontà da parte delle istituzioni e dei progettisti di voler incentivare lo spostamento dei sistemi serricoli verso la zona più a monte della regione raggiungendo il duplice vantaggio di pianificare consapevolmente la zona montana e nello stesso tempo poter pervenire ad un ripristino dell'area costiera. Le proposte tendono inoltre a

---

<sup>12</sup> Dal Piano Territoriale della provincia di Ragusa.

<sup>13</sup> Workshop Internazionale "La matrice di sostenibilità nelle trasformazioni del paesaggio" nuove prospettive per l'area iblea alla luce della Convenzione Europea del Paesaggio. Ragusa 28, 29 febbraio – 02 marzo 2008. Regione Siciliana – Assessorato Regionale per i Beni Culturali Ambientali e Pubblica Istruzione – Soprintendenza BB.CC.AA. – Ragusa.

fornire linee concrete di intervento per la tutela e la difesa del suolo e del territorio, per la conservazione della natura e delle risorse idriche e per una attenta gestione dei rifiuti.

Il P.R.S. è certamente aggiornato alla definizione di politiche progetti ed azioni in genere condivisibili, ma è carente proprio per aver dato un carattere troppo generale alle azioni non scendendo a definire il da farsi a breve termine. In sostanza, a tante buone intenzioni non corrispondono azioni concrete che la Provincia possa intraprendere fin da subito, con i ruoli e le risorse disponibili.





## MATERIALI E METODI

La sperimentazione è stata resa possibile grazie alla realizzazione di modelli pilota (container-sistema serra chiuso) nei quali si è potuto monitorare e testare parametri ambientali qualitativi e produttivi attraverso il susseguirsi di alcuni cicli di colture fuori suolo<sup>14</sup>, relazionati ad un sistema di climatizzazione alimentato ad energia solare. Si è testato la validità del sistema e la sua funzionalità individuandone i fattori di influenza all'interno dei modelli.

I prototipi si trovano presso Santa Croce Camarina (Rg) all'interno di un'area privata di proprietà della società SOCEP<sup>15</sup> partner del progetto MODEM<sup>16</sup> (Tavola 1).

La tecnica di coltivazione impiegata come fuori suolo è il floating system<sup>17</sup>, sembra l'alternativa migliore in questo tipo di contesto. All'interno dei moduli è stato possibile studiare le interazioni tra gli aspetti energetico-ambientali ed il comportamento delle colture.

Altre variabili valutate in campo sono state:

- § regime termico
- § qualità dell'aria
- § sviluppo, crescita, produttività e qualità delle colture.

L'importanza di avere un modello in cui testare e sperimentare ha dato la possibilità di individuare e verificare le tecniche e le tecnologie più appropriate per l'impiego di sistemi solari, tipologia di serra e tecniche di coltivazione idonee al caso. È stata posta particolare attenzione all'acquisizione dei dati di radiazione solare, relazionati alle coordinate geografiche locali ai cicli stagionali e alle ore del giorno, con lo scopo di verificarne la rispondenza energetica e la capacità di soddisfare la richiesta di un tale sistema. Questo ha rappresentato un valido strumento sia per una gestione in tempo reale della coltivazione sia per una programmazione a medio termine o finalizzata a scelte strategiche a lungo termine.

---

<sup>14</sup> termine generalmente impiegato per descrivere tutti i sistemi di coltivazione condotti al di fuori del terreno e che utilizzano l'acqua come veicolo di sostanza nutritive per le piante

<sup>15</sup> SO.C.E.P. s.r.l. azienda leader nel settore delle strutture metalliche delle serre, rappresenta il punto di riferimento a livello regionale;

<sup>16</sup> Progetto MODEM finanziato dal Ministero per l'Università e la Ricerca Scientifica, per un importo di 5 milioni e 900 mila euro. Vede la collaborazione di partner di rilievo quali l'ENEA, Università degli Studi di Palermo e importanti aziende siciliane del settore ed è finalizzato alla realizzazione, attraverso la ricerca ed il trasferimento tecnologico, di un sistema serra sostenibile a basso impatto ambientale idoneo alle peculiarità ambientali e climatiche della Sicilia;

<sup>17</sup> ingl. float=galleggiare - sistema di coltura che come strato di coltivazione non utilizza il terreno, ma soltanto l'acqua arricchita di soluzioni nutritive. Numerose sono le ricerche che valutano i parametri produttivi (kg/m<sup>2</sup>) di questa particolare tecnica, di crescita e qualitativi (contenuto di nitrati, clorofilla) in diverse specie ortive da foglia ed aromatiche coltivate in floating. È stata valutata, anche la possibilità di incrementare il valore nutrizionale dei prodotti mediante l'arricchimento con sostanze nutritive favorevoli per la salute dell'uomo, come ferro, selenio acidi grassi etc. A studiare le coltivazioni in idroponica la NASA, la FAO allo scopo di prevenire e controllare la malnutrizione e carenza di alimenti nelle aree suburbane dei paesi sottosviluppati dell'America latina e dell'Africa. In Bielorussia (e nello specifico nelle regioni contaminate dall'incidente nucleare di Cernobyl); workshop i sistemi di coltivazione fuori suolo a ciclo chiuso – E. K. Diaz, F. malori, F. Tognoni, G. Serra;

## II.1. Descrizione del progetto sperimentale

Trattasi di tre moduli-container che insistono su di un'area trapezoidale di circa 400 m<sup>2</sup> (fig. 10), disposti per il lato lungo, parallelamente tra loro, secondo l'asse Est-Ovest; tali moduli - container presentano una forma rettangolare di 3x8x3m di altezza. L'involucro (pareti e copertura) è costituito da pannelli in lamiera preverniciata di spessore di 8 cm coibentati con cartongesso. Dotati di finestrate regolari presenti nelle quattro pareti, tali da assicurare una sufficiente illuminazione all'interno.

Il sistema energetico impiantistico (fig. 11) ne consente l'assoluta autosufficienza, garantita da un sistema stand alone attraverso l'impiego di pannelli solari fotovoltaici (rispettivamente: monocristallino, policristallino ed amorfo) collocati sulle coperture. Tale sistema garantisce all'interno dei container condizioni di comfort per gli ospiti attraverso la regolazione di:

- § riscaldamento
- § raffrescamento
- § ventilazione (deumidificazione)
- § irrigazione
- § illuminazione



Fig. 10 – tre container con relativi



fig. 11– particolare dell'impianto istallato sulla  
copertura del primo modulo

La climatizzazione interna è regolata attraverso pompa di calore<sup>18</sup> con una potenza assorbita 2,69 kW/h circa.

I container hanno ospitato una particolare tecnica di coltivazione idroponica con sistema floating system. Trattasi di un sistema di produzione in mezzo liquido statico in cui le piante sono allevate in pannelli di polistirolo alveolati, dotati di una serie di fessure a sezione tronco-conica ad alta densità, riempite con modesti quantitativi di substrato (vermiculite e/o perlite) galleggianti in

<sup>18</sup> modello monosplit a parete 6000 btu/h;

vasche impermeabilizzate. Le radici fuoriescono dagli appositi fori e si sviluppano nell'acqua, mentre le foglie crescono sopra il pannello, prive di qualsiasi residuo di terra.

All'interno dei singoli container (fig. 12, 13) le vasche di coltura del sistema floating system si sviluppano su di un piano, in più filari per l'allevamento dei pomodori e verticalmente a più livelli la lattuga e lo spinacio:

- § Container 1 - Modulo A (filare) 1, 2, 3 - pianta 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (pomodoro).
- § Container 2 - Modulo B1 (filare) 1 (livello) 1, 2, 3 - B (filare) 2 (livello) 1, 2, 3 (lattuga).
- § Container 3 - Modulo C1 (filare) 1 (livello) 1, 2, 3 - C (filare) 2 (livello) 1, 2, 3 (spinacio).



Fig. 12 – interno container, particolare dell'impianto



Fig. 13 – interno container, particolare delle vasche di coltura

Il sistema multilivello è stato appositamente creato, con tubolari in alluminio per la struttura primaria sorretta da cavetti in acciaio, supportano tre vasche in alluminio (1,60x0,30x0,10) per filare disposte verticalmente a distanza tra loro di circa 60 cm, spazio necessario per le manovre di gestione delle colture.

### II.1.1 Colture floating system

Per questo tipo di sperimentazione si è deciso di impiegare tecniche di coltivazione alternative a quelle comunemente applicate in serra su suolo, tenendo in considerazione quei fattori limitanti che il continuo ripetersi delle colture sulla stessa superficie, all'interno di strutture fisse, svilisce i suoli rendendoli sempre più sterili. Non rispettando alcuna rotazione tra le coltivazioni si manifestano, spesso in tempi molto brevi, i fenomeni classici di stanchezza del suolo. (Bibl. Leoni S.)

Per la sperimentazione sono state predilette delle colture allevate con sistema floating a ciclo chiuso che sembra essersi dimostrato il più economico fra i sistemi in idrocoltura.

Comunque il problema si pone nelle fasi di più intenso accrescimento e nei periodi caldi, dato che la concentrazione di ossigeno disciolto in una soluzione è inversamente proporzionale alla temperatura della stessa.

Le piante sono disposte nelle vasche di allevamento con una densità media di 133 piante a m<sup>2</sup>, galleggiano costantemente sulla soluzione nutritiva che viene periodicamente reintegrata in rapporto al consumo di acqua ed elementi minerali; le vasche di alluminio poste in bancali e posizionate a tre diverse altezze in verticale rispettivamente a 0,60 per il primo livello, 1,20 per il secondo e 1,80 m dal calpestio per il terzo.

Sono stati effettuati controlli periodici della soluzione nutritiva, riguardano i parametri di pH e Conducibilità Elettrica ed ossigeno disciolto nella soluzione. Si è riscontrato che i primi non variano eccessivamente se il volume di soluzione nutritiva è sovrapporzionato rispetto al numero di piante, cioè se sono impiegate vasche di sufficiente profondità intorno 20 cm.

L'attività di sperimentazione vera e propria, dopo una lunga e difficoltosa preparazione ed organizzazione, è cominciata nel gennaio del 2009, anno in cui è stato preparato il primo ciclo di coltura. Il primo modulo-container (fig. 14), è stato opportunamente allestito per ospitare il primo ciclo colturale durato 118 giorni: 21 piante di pomodoro della varietà *solanum lycopersicum* (fig. 15) disposti in un solo livello a tre filari, ognuno dei quali ne contiene 7.

I campioni sono stati prelevati in data 30 marzo 2009, dalla piattaforma sperimentale e sono stati trasportati presso il laboratorio di chimica ITAF<sup>19</sup> per effettuare tutte le opportune analisi chimico fisico per testare la qualità finale del prodotto.

---

<sup>19</sup> Laboratorio di chimica del Dip. ITAF (Ingegneria e Tecnologia Agro Forestali) presso la Facoltà di Agraria dell'Università di Palermo, partner del progetto MODEM





Fig 14- primo modulo container



fig. 15 – primo ciclo culturale di pomodoro

La seconda parte dell'attività sperimentale ha avuto luogo a gennaio 2010 presso i moduli-container II e III, hanno ospitato rispettivamente le colture di: lattuga *Lactuca sativa* Longifolie varietà nissena (720 piantine<sup>20</sup>) (fig. 16) e spinacia oleracea varietà gladiator (690 piantine) (fig. 17).



Fig. 16 – allevamento di *Lactuca sativa*



fig. 17 – allevamento di *spinacia oleracea*

I loro semi sono stati fatti germinare in altro contesto, in pannelli alveolati di polistirene, di forma rettangolare (40x20x10cm) con 15 fori di 6 cm di diametro, con un substrato di perlite a granuli di 2 mm circa e vermiculite (fig. 18, 19). La scelta di tale substrato è stata fatta per le sue

<sup>20</sup> Di queste 80 piantine sono state coltivate al di fuori del sistema floating ma con le stesse condizioni ambientali, come coltura di controllo e raffronto.

caratteristiche peculiari, la perlite perché trattandosi di sostanza ricca di macro-pori, favorisce gli scambi gassosi e quindi l'ossigenazione delle radici, mentre la vermiculite è un minerale, composta da lamine di alluminio magnesio e ferro legate da molecole di acqua<sup>21</sup>.



Fig. 18 – plantule di *Lactuca sativa*

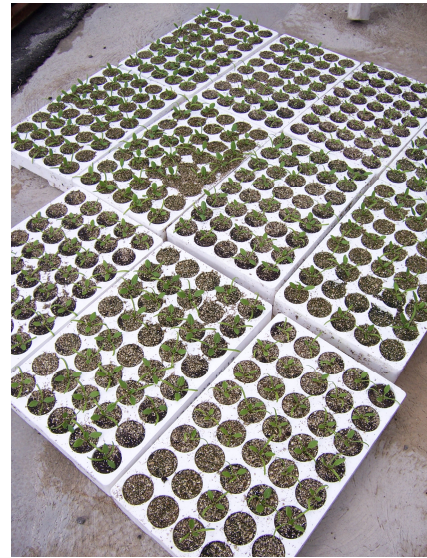


fig. 19 – plantule di *spinacia oleracea*

Dunque la fase di germinazione dei semi ha avuto luogo in ambiente controllato, ad una temperatura di 20°C ed ad una pressione 1atm.

Soltanto quando le plantule hanno raggiunto uno sviluppo in altezza di 4,5 cm circa, con 4 - 5 foglie, con un apparato radicale consistente (33 giorni circa dall'avvenuta semina) sono state trasferite nei moduli-container, in data 19 gennaio 2010, alloggiate nelle apposite vasche di crescita in sistema floating system, distribuite su due filari in tre livelli:

§ Container II – filare A, B – livello 1, 2, 3 - coltura spinacio

§ Container III – filare C, D – livello 1, 2, 3 – coltura lattuga

La durata di entrambi i cicli di produzione è stata di 47 giorni, conclusa il marzo 2010.

### II.1.2 Vantaggi e svantaggi delle colture floating system

In generale le colture fuori suolo sicuramente hanno numerosi vantaggi, come:

- § migliore controllo delle condizioni fitosanitarie e possibilità di monosuccessioni;
- § migliore controllo della nutrizione minerale;
- § recupero di aree marginali;

---

<sup>21</sup> Quella utilizzata per le colture è trattata a 1100°C allo scopo di far evaporare le molecole d'acqua di struttura e lasciare i pori per trattenere l'acqua irrogata. Questo minerale libera quantità di potassio e di magnesio ed ha un effetto tampone, ovvero tende a riportare il pH a condizione di neutralità.

- § incremento della resa e migliore qualità dei prodotti;
- § riduzione dei tempi morti ai trattamenti geodisinfettanti.

Nelle colture floating system si aggiungono ulteriori vantaggi:

- § Breve durata del ciclo colturale (da 3 settimane a 2 mesi) variabile a seconda della specie, della stagione e del prodotto che si desidera ottenere;
- § Elevata efficienza dell'acqua: per esempio 13 l di acqua impiegati per produrre 1 Kg di lattuga allevata in primavera con una densità di 600 piante/m<sup>2</sup>
- § Elevata produzione unitaria: la lattuga ha prodotto 6 kg/m<sup>2</sup>
- § Prodotto pulito (privo di residui di substrato) con caratteristiche nutrizionali variabili in seguito a modificazioni mirate e rapide della composizione della soluzione nutritiva (meno nitrati e più elementi utili per la salute umana: ferro, selenio, calcio, zinco e magnesio).

Tuttavia la scarsa diffusione di questa tecnologia è dovuta al fatto che occorrono investimenti iniziali maggiori rispetto ad un impianto tradizionale accompagnato dalla necessità di personale dotato di professionalità specifica sia nell'impianto che nella gestione.

Le caratteristiche di questo sistema di coltivazione lo rendono ideale per la produzione di prodotti di IV gamma. (azienda sperimentale "La Noria")

### II.1.3 Produzione di IV gamma<sup>22</sup>

Il trend dei prodotti di IV gamma è dimostrato dalla continua crescita del loro utilizzo in quanto soddisfano i nuovi stili di consumo attraverso una preparazione e una presentazione funzionali sia al consumatore, sia alla moderna distribuzione. Ad esempio le insalate da foglia, che nel paniere degli italiani rappresentano un genere insostituibile con un livello di penetrazione al consumo intorno al 90%. ([www.ermesagricoltura.it](http://www.ermesagricoltura.it)).

E quindi l'adozione di tecniche di coltivazione innovative come il floating system appare particolarmente indicato per alcuni prodotti della IV gamma in quanto risulta il più economico ed è estremamente sicuro in termini di pulizia e sanità del prodotto. Il prodotto presenta un'elevata qualità intrinseca, intesa come pulizia, cioè assenza di residui di terreno o sabbia, residui di agro farmaci che sono quasi assenti. Per quanto concerne i contenuti di nitrato, carica microbica, caratteristiche organolettiche e nutrizionali, il fatto di poter controllare in modo puntuale le condizioni ambientali e nutrizionali in coltivazione offre buone opportunità di ottimizzare tutti i

---

<sup>22</sup> Con questo termine si indicano quei prodotti orticoli dal valore aggiunto pronti al consumo. Quindi prodotti ortofrutticoli freschi, mondati delle parti non utilizzabili, tagliati, lavati, asciugati, imballati in buste o contenitori in plastica e venduti in banco refrigerato



parametri. Per la gran parte dei prodotti è possibile garantire una buona costanza di fornitura, potenzialmente distribuita su 12 mesi, e sulla maggior standardizzazione del prodotto.

#### II.1.4 Il sistema di fertirrigazione automatizzato

All'interno dei moduli-container è stato allestito un circuito idraulico chiuso che svolge nel contempo operazioni di irrigazione e di somministrazione di risorse nutritive alle piante in coltura. In tale sistema di fertirrigazione è possibile monitorare, in ogni momento i parametri di controllo.

L'impianto idraulico in dotazione è composto da un serbatoio aperto (non in pressione) in polietilene rigido (fig. 20), del volume di 150 l, corredato da una pompa idraulica elettrica, che fornisce la dovuta spinta al fluido fertirrigante, il quale attraverso una serie di tubi, anch'essi in polietilene (nero d'uso agricolo), di un pollice di diametro, arriva alle 12 canalette di coltura (fig. 21). In ogni canaletta viene mantenuta costante 1 cm circa di acqua attraverso fori di deflusso. Attraverso quest'ultimo che la soluzione in eccesso defluisce, e viene convogliata verso il serbatoio.



fig. 20 - serbatoio d'acqua e sostanze nutritive



fig. 21- sistema di fertirrigazione

All'interno del circuito un conduttimetro<sup>23</sup>, un pHmetro<sup>24</sup> ed un termometro per monitorare in continuo la soluzione messa in circolo. Mentre una centralina automatizzata attraverso input

---

<sup>23</sup> Misura la conduttività elettrica che è un parametro sumatorio per sostanze sciolte dissociate. La grandezza della conduttività dipende dalla concentrazione e del grado di dissociazione degli ioni, come della temperatura e della velocità di migrazione. Una misurazione della conduttività non apporta informazione sulla classe degli ioni. Nonostante ciò possono estrarsi conclusioni esatte della conduttività per la concentrazione di ioni sciolti se si conoscono la composizione degli ioni e la conduttività equivalente. La conduttività si misura frequentemente per



elettrici, aziona il sistema di pompaggio, che avvia la fertirrigazione secondo un piano di somministrazione della soluzione nutritiva, (tabella 5) attivato ogni ora, dalle 6.00 fino alle 20.00, mentre per il ciclo notturno dalle 20.00 alle 6.00 sono stati previsti quattro cicli.

Anche l'impianto di pompaggio è alimentato da energia elettrica prodotto dall'impianto fotovoltaico. ([www.fertirrigazione.it](http://www.fertirrigazione.it))

minuti	n. passaggi per h	funzionamento 1 h al minuto	Ore/giorno	funzionamento 24h minuti	minuti n. ore	ore di funz. al giorno
2	5	10	24	240	60	4

Tabella 5 - Funzionamento pompa

### II.1.5 Trattamento nutritivo

La gestione della soluzione nutritiva (tabella 6) rappresenta una delle fasi più importanti del sistema floating system pertanto, a garanzia del successo della sperimentazione, è stato necessario, periodicamente, monitorare consumi e caratteristiche chimico/fisiche di suddetta diluizione.

Durante tutto il periodo sperimentale, con cadenza settimanale, sono stati fatti i seguenti monitoraggi:

- § rilevamento dei volumi di soluzione nutritiva consumata;
- § monitoraggio di T, pH, e dell'Ec (Electrical conductivity – conducibilità elettrica)<sup>25</sup> della soluzione nutritiva residua, con rispettiva analisi chimica;
- § monitoraggio di T, pH, e dell'Ec della soluzione nutritiva ricostituita, con rispettiva analisi chimica<sup>26</sup>.

L'arricchimento di ossigeno<sup>27</sup> avviene facendo ricircolare la soluzione nutritiva tra gli estremi della vasca mediante pompe ed impianti a caduta.

Presupposti importanti per l'efficienza e il razionale impiego della fertirrigazione sono state le conoscenze nutrizionali (minerali ed idriche) della specie colturale trattata. Pertanto si è ritenuto opportuno utilizzare una composizione di soluzione nutritiva come segue in tabella:

---

controllare le installazioni di desalinizzazione di acqua, oltre a per controllare acque superficiali ed acque sotterranee. Per la misurazione della conduttività nelle prossimità delle coste può decidersi in che cosa misurata l'acqua marina ha penetrato nell'acqua sotterranea. Nelle analisi di suolo la conduttività c'indica la proporzione di sali solubili e con ciò il potenziale di utilizzazione del suolo. La conduttività, unità:  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , si esprime per il valore reciproco della resistenza elettrica,  $S=1/\text{Ohm}$ , in relazione con un cubo di acqua di 1 cm a 25 °C.

<sup>24</sup> Apparecchio elettronico che serve a misurare il pH presente nei liquidi.

<sup>25</sup> è la misura di tutti gli ioni che conducono elettricità nelle soluzioni acquose

<sup>26</sup> Monitoraggio eseguito dalla dott. Nunzia Pecoraro

<sup>27</sup> Altro modo per l'arricchimento di ossigeno può essere eseguito immettendo nella soluzione nutritiva aria a circolazione forzata o ossigeno attraverso tubi forati disposti sul fondo delle vasche per tutta la lunghezza oppure

macroelementi	mg/l	microelementi	mg/l
P2O5	120	Fe	3
N	60	B	0,5
KO2	8,51	Mn	0,5
Mm		Cu	0,02
Ca++	5,47	Zn	0,05
Mg++	2,43	Mo	0,01
SO4+	10,575		

Tabella 6 - soluzione nutritiva secondo Steiner 1984 modificata

### II.1.6 Monitoraggio dei parametri ambientali interni ed esterni

Essendo la serra un riparo ideato essenzialmente per la protezione delle piante durante i periodi di minima e massima termica, è opportuno all'inizio, prendere in esame, parametri ambientali anche in considerazione al rendimento termico, che unitamente alla resa dell'energia luminosa, costituiscono i principali criteri di valutazione dell'efficienza della serra.

Pertanto l'intero sistema è stato monitorato, in continuo, attraverso postazione di rilevamento (Allegato A) dei parametri ambientali interni ed esterni ai moduli-container. Ciò ha permesso di controllare ed eventualmente intervenire nel caso in cui tali parametri subiscano bruschi cambiamenti condizionando la qualità delle colture

I principali parametri raccolti utili a descrivere lo stato ambientale sono:

- § temperatura
- § umidità relativa
- § irraggiamento totale VIS
- § irraggiamento nelle lunghezze d'onda del visibile.

La strumentazione in dotazione abbiamo (fig. 22, 23) il piranometro PYR SP 110 che misura l'irradiazione su una superficie piana ( $\text{Watt/m}^2$ ). L'irradiazione misurato è la somma dell'irradiazione prodotto dal sole e dell'irradiazione diffuso (irradiazione globale). (appendice apparecchiature utilizzate).

L'igrometro in dotazione è l'RHT RH, i dati vengono registrati ad intervalli di tempo di 20 minuti in continuo da raccogliore di dati l'Em50 ECH<sub>2</sub>O LOGGER.

Sulla copertura del container è stata installata una centralina di rilevamento dati per rispondere all'esigenza di una adeguata misura e modellizzazione della fonte energetica primaria.



Fig. 22 – Registratore dati Em50



Fig. 23 – Piranometro PYR SP 110, Piranometro VIS PAR SQ110, Igrometro RHT RH

## II.2 Fasi di campionamento

In questa fase si è cercato il più possibile di prelevare dei campioni quanto più rappresentativi rispetto al contesto di provenienza, per non compromettere l'esattezza di quella che sarà un'analisi attendibile.

Come linee guida si sono tenuti in considerazione diversi fattori quali:

- § lo stato fisico del campione
- § la zona di prelevamento
- § le caratteristiche dei materiali stessi (sostanze naturali, terreni, minerali etc.)
- § la qualità del materiale da campionare per gli scopi
- § tipo di analisi da effettuare
- § tipo di attrezzatura da impiegare

Il piano di campionamento deve assicurare la risposta alle informazioni richieste dalla misura, è può essere elaborato secondo lo schema seguente:

- § definizione degli obiettivi
- § scopo della misura
- § selezione dei costituenti da analizzare
- § scelta del metodo analitico
- § determinazione del numero di prelevamenti, del metodo di campionamento, di quello di conservazione e pretrattamento del campione
- § localizzazione dei punti di prelievo
- § preparazione del materiale occorrente.

In contemporanea sono stati fatti diversi tipi di campionamento, uno per la soluzione nutritiva e l'altro per le colture (Bib. Tesi Dott. Pecoraro N.).

### II.2.1 Campionamento delle colture (lactuca sativa e spinacia oleracea)

Sono stati raccolti dai due rispettivi gruppi di coltura, campioni ritenuti i più rappresentativi il primo è avvenuto al 33esimo giorno dalla semina.:

#### I settimana

- § N° 10 campioni di lactuca sativa
- § N° 10 campioni di spinacia oleracea

#### II settimana

- § N° 4 campioni di lactuca sativa per ogni livello
- § N° 4 campioni di spinacia oleracea per ogni livello
- § N° 4 campioni di controllo di lactuca sativa
- § N° 4 campioni di controllo di spinacia oleracea

#### III settimana

- § N° 4 campioni di lactuca sativa per ogni livello
- § N° 4 campioni di spinacia oleracea per ogni livello
- § N° 4 campioni di controllo di lactuca sativa
- § N° 4 campioni di controllo di spinacia oleracea

#### IV settimana

- § N° 4 campioni di lactuca sativa per ogni livello
- § N° 4 campioni di spinacia oleracea per ogni livello
- § N° 4 campioni di controllo di lactuca sativa
- § N° 4 campioni di controllo di spinacia oleracea

### II.2.2 Preparazione dei campioni

Le piante dopo la rappresentativa raccolta sono state trasportate in laboratorio per essere preparate per essere sottoposti a metodiche cromatografiche in grado di effettuare determinazioni quali-quantitative. La procedura<sup>28</sup> seguita è stata la seguente: le piante sono state pulite accuratamente, pesate in bilancia analitica a quattro cifre decimali (Allegato B), e separate le foglie dall'apparato radicale. In un secondo momento i campioni sono stati sottoposti ad una fase di essiccamento, posti in stufa a temperatura a 40°C per 48 ore. Le piante così trattate giungono ad un peso costante che è quello secco, per questo nuovamente pesate. In seguito per estrarre i nitrati dai campioni per portarli in soluzione sono stati macinati con mortaio in ceramica.

---

<sup>28</sup> Regolamento CE n. 1882/2006 della Commissione Europea, del 19 dicembre 2006, che stabilisce metodi di campionamento ed analisi per il controllo ufficiale del tenore di nitrati in alcuni prodotti alimentari.

Si procede all'estrazione dei nitrati<sup>29</sup>: Fase 1. In contenitore in PE si pone 0,3 g di campione di acqua bi-distillata, chiuso ermeticamente, la sospensione viene sottoposta all'azione dell'agitatore rotante per 12 ore a 20°C. Fase 2. I campioni vengono posti in centrifuga a 5000 r.p.m. per 12 minuti. Fase 3. Il surnatante viene separato dal campione mediante due processi di 1. filtrazione (con l'ausilio di un sistema a pompa sottovuoto che aspira il campione attraverso la carta filtro; 2. Il campione viene fatto passare attraverso un filtro per siringa avente porosità di 0,45 µm. Fase 4: il campione filtrato è conservato in provetta (Apat, 2002) a temperatura di 4°C sino al momento dell'analisi al cromatografo ionico<sup>30</sup> per conoscere il tenore degli ioni nitrato presenti nelle piante.

---

<sup>29</sup> Procedimento effettuato in collaborazione con la Dott. Nunzia Pecoraro. Bibl. Tesi dott.

<sup>30</sup> Cromatografo ionico 761 Compact IC della Metrohm con colonna di separazione Metrosep a supp 5 da 150 mm Lx4mm e 5µm ID, in dotazione del laboratorio di chimica generale del Dip. ITAF della Facoltà di Agraria.



## RISULTATI E DISCUSSIONE

L'approfondimento delle analisi si sono concentrate, almeno durante la seconda fase della sperimentazione sui modelli-container II e III, quindi sulle colture di spinacio e lattuga.

### III.1 Parametri ambientali

All'interno nei moduli-container, grazie al monitoraggio in continuo, si è osservato che l'andamento della temperatura risulta costante durante le fasi giornaliere, mantenendo una temperatura media diurna, durante tutto il mese di gennaio, intorno ai 20°C, con U.R. compresa tra 80-90%. (grafici 1, 2, 3, 4, 5<sup>31</sup>) con una piccola variazione del 2% si trova nel modulo III.

Per quanto concerne i dati rilevati sulla radiazione totale si è evidenziato che nel modulo II si hanno valori inferiori a 20 Watt/m<sup>2</sup>, mentre nel III risulta più omogeneo con una media che oscilla tra 15-10 Watt/m<sup>2</sup>. Mentre i valori dell'irraggiamento, in corrispondenza di lunghezza d'onda appartenenti alla luce visibile, oscillano, nel modulo II fra massimi superiori a 80 µmol/m<sup>2</sup> minimi inferiori a 20 µmol/m<sup>2</sup>, il III modulo presenta valori fra 100 µmol/m<sup>2</sup> minimi inferiori a 15 µmol/m<sup>2</sup>.

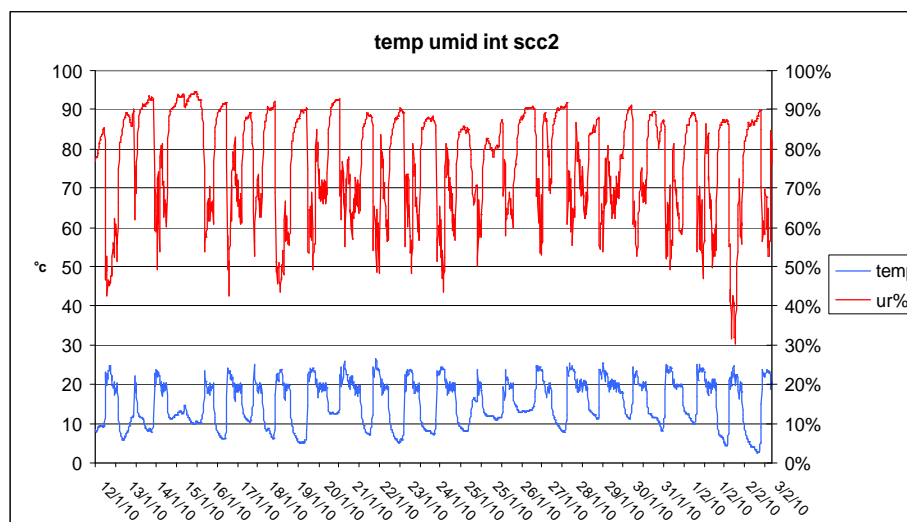


Grafico 1- rilevamento della temperatura e UR all'interno del secondo container

<sup>31</sup> Fonte ENEA

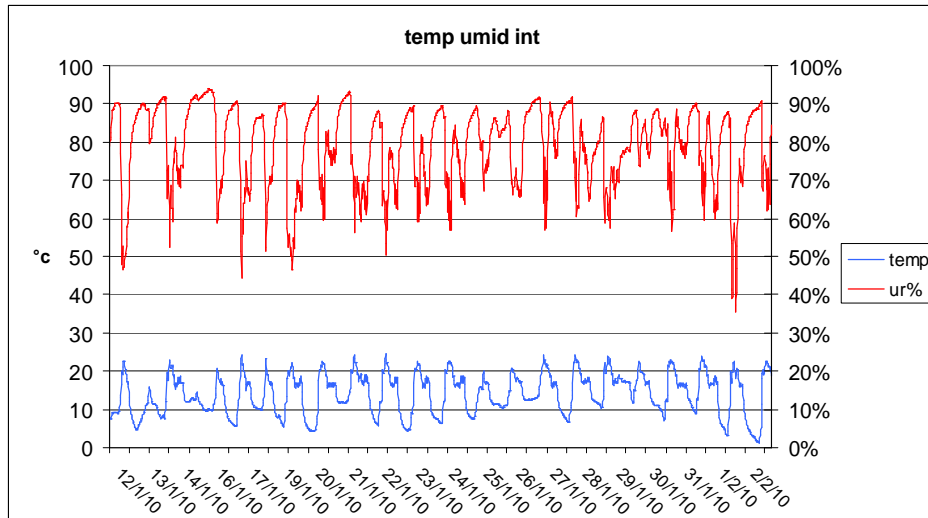


Grafico 2- rilevamento della temperatura e UR all'interno del terzo container

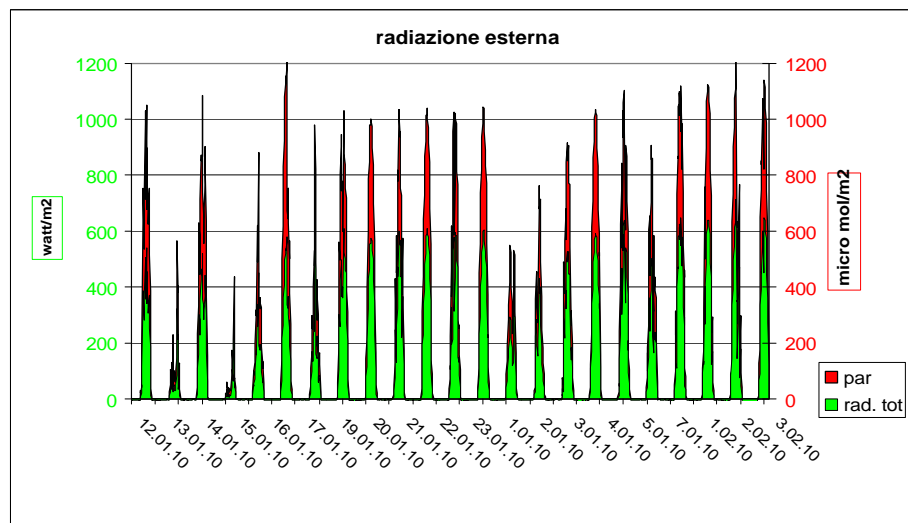


Grafico 3- rilevamento esterno della radiazione luminosa

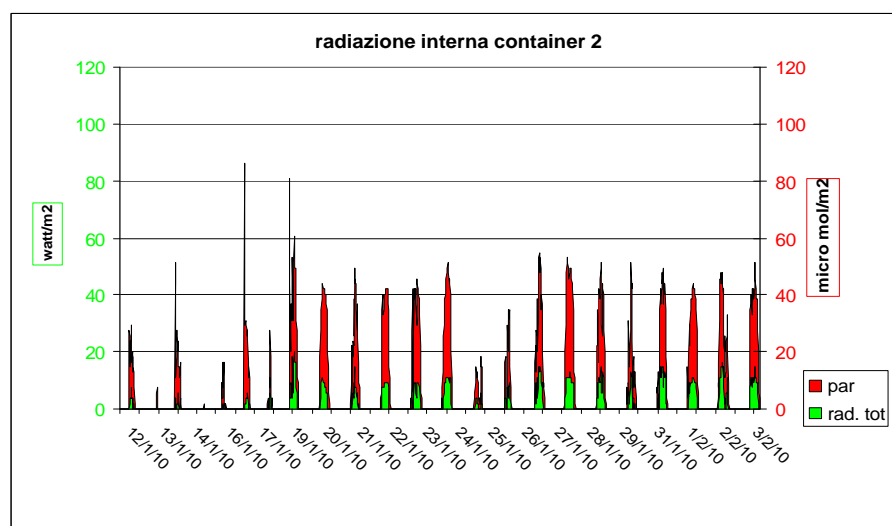


Grafico 4- rilevamento interno del secondo container della radiazione luminosa



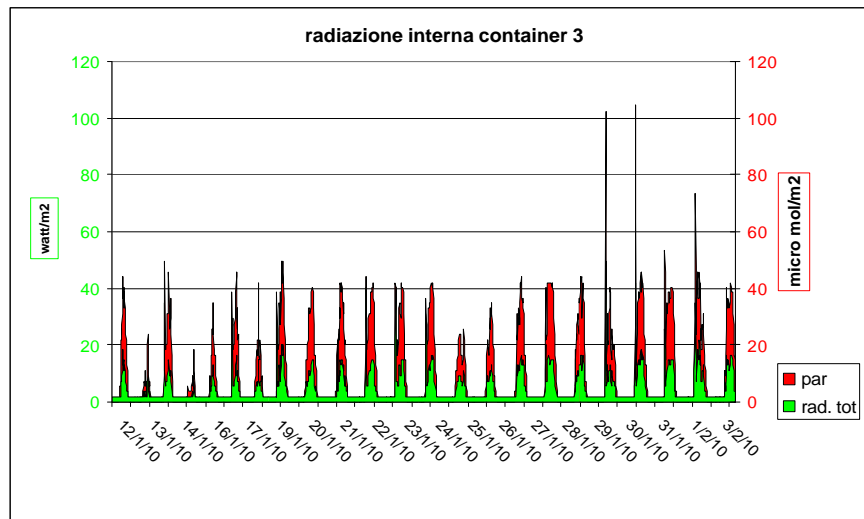


Grafico 5 - rilevamento interno del terzo container della radiazione luminosa

### III.1 Il sistema fotovoltaico

Sui tre moduli-container sono stati installati impianti fotovoltaici (Allegato C) rispettivamente:

- § Container I – pannelli monocristallino;
- § Container II – pannelli amorfo;
- § Container III – pannelli policristallino.

Tuttavia in questa sede dal momento che i risultati di rendimento dei tre sistemi, in qualche modo si equivalgono, verranno presi in considerazione i dati<sup>32</sup> rilevati nel sistema I (pannelli monocristallini). Pertanto si riportano i principali parametri energetici e di funzionamento del modulo-container preso in esame:

Potenza pompa	42W
Energia assorbita	0W/giorno
kWh assorbiti da 21 piante in 1 giorno	0,000
n° piante	21
energia assorbita da 1 pianta in 1 giorno in	kW

potenza dell'impianto fotovoltaico <sup>33</sup>	1,6 kWh/kWp
energia prodotta da 1 kWp di pannello in un anno	1355
energia prodotta da 11,79 kWp di pannello	15975
saldo energia venduta all'ENEL in kWp	7799 kWh

<sup>32</sup> Dati forniti da ENEA

<sup>33</sup> necessario per azionare le pompe di calore col punto minimo di produzione di energia (gennaio) – produzione minima al netto di tare in gennaio al giorno in kWh/kWp

### III.2 La produttività delle colture

Per completezza di chiarificazione dell'avvenuta sperimentazione, è doveroso citare precedenti studi<sup>34</sup> riguardo la resa delle colture (Allegato D).

Le immediate osservazioni sul processo di crescita hanno chiaramente dimostrato uno sviluppo differenziato a seconda la specie colturale e secondo l'esposizione della radiazione luminosa.

Per quanto concerne il pomodoro del modulo-container I, si è avuto uno accrescimento ottimale, con produzione di frutti, nei filari più esterni, quelli vicini alle aperture, contrariamente alcune piante disposte internamente non ne hanno sviluppano.

Per le altre colture lo spinacio (modulo-container II) e la lattuga (modulo-container III) è stato possibile fare delle osservazioni comuni, durante la prima settimana di controllo, si è evidenziato in tutti i campioni un incremento di velocità di accrescimento rispetto a quello avuto durante la fase di germoglio. Tale valore presenta delle differenze a seconda della disposizione delle piante nei tre livelli. Infatti quelle al secondo livello hanno incrementato maggiormente lo sviluppo seguite da quelle allevate al primo livello ed infine quelle al terzo. Tale tendenza è mantenuta pressoché invariata in tutti gli indici rilevati. Ribadendo ancora una volta che tale condizione è dovuta alla differente disponibilità di radiazione luminosa. Pertanto anche l'efficienza fotosintetica è risultata differente, secondo la quale i tessuti vegetali fotosintetizzanti, durante la prima fase di crescita la resa più produttiva si è avuta al secondo livello che si è invertita durante la seconda fase in cui il migliore rendimento si ha al primo livello.

È consigliabile in un nuovo ciclo colturale, l'alternarsi dei livelli a seconda le necessità di crescita che si vogliono.

### III.3 Sistemi di fertirrigazione (recupero della soluzione nutritiva)

La fornitura di acqua avviene tramite un circuito chiuso che dà la possibilità di essere recuperata e reinserita in circolo reintegrando la soluzione nutritiva iniziale.

Molti sono stati gli studi<sup>35</sup> fatti sulla soluzione nutritiva con risultati variabili e non all'altezza delle aspettative supposte. Pertanto, ancora oggi, sono in corso ulteriori studi finalizzati all'approfondimento della conoscenza di quei fenomeni chimici che avvengono in tutto il sistema di coltivazione, con lo scopo di apportare i necessari miglioramenti per renderlo più efficiente, ma che comunque ha mostrato già grandi potenzialità ed interesse scientifico e commerciale.

---

<sup>34</sup> Tesi di dott. di Pecoraro Nunzia

<sup>35</sup> Tesi di dott. di Pecoraro Nunzia



## DEFINIZIONE DEGLI SCOPI E DEGLI OBIETTIVI - FASE PROGETTUALE

Nuovi orizzonti possono aprirsi per la futura progettazione dei sistemi serra, nuove proposte di collaborazione e interdisciplinarietà tra le molteplici variabili che entrano in gioco in un tale contesto.

L'attenzione della ricerca e della sperimentazione si sono rivolte, sia verso una tipologia di serra a climatizzazione passiva o spontanea, quale può essere la serra "bio-climatica"<sup>36</sup> che ad una tipologia più industrializzata, che si avvale di sistemi "automatici" per il controllo del clima interno, usufruendo di sistemi energeticamente compatibili.

Ø L'ottimizzazione delle scelte funzionali, tecnologiche e morfologiche fanno riferimento alle fasi di concezione di un progetto: metaprogetto, progetto definitivo, progetto esecutivo che deve essere finalizzato all'uso razionale delle risorse e alla salvaguardia dell'ambiente.

Nell'ambito degli scopi e degli studi, è stato posto il problema di predisporre proposte per la elaborazione tecnica relativa alle prestazioni, in riferimento alla qualità ed al comportamento energetico dei singoli componenti del sistema serra e del loro insieme strutturato in unità tecnologica<sup>37</sup>.

L'obiettivo, è pertanto, propedeutico alle scelte decisionali che costituiscono un mezzo di guida e di controllo del sistema serra, per favorire le esigenze di qualità, con un contenimento dei corrispondenti consumi energetici.

Infatti, qualità significa mutare prospettiva, cogliere l'aspetto culturale di tale elemento, abbandonando la contrapposizione tra qualità e produttività, accogliendola come leva competitiva, strumento di riduzione dei costi e di maggiore soddisfazione per le imprese e per l'utenza. La qualità quindi passa da aspetto prettamente tecnico ad elemento di carattere direzionale-manageriale, ad obiettivo diffuso in tutto il processo, dalla progettazione di una azienda al prodotto finale. La qualità deve essere la strategia culturale di un criterio di sviluppo, e soprattutto l'esito dei processi e come funzione dello sviluppo produttivo, deve avere quindi, una dimensione di misura e misurabilità; nello stesso tempo non può prescindere dai processi posti in atto dall'uomo nell'ambiente, in cui viene realizzata, riconosciuta, sviluppata.

L'affermazione di una serricoltura avanzata, come di altri settori agricoli in genere, é legata alla capacità di perseguire una politica agricola che sia in grado non solo di valorizzare la qualità dei prodotti, ma anche di facilitare ed accelerare il cambiamento tecnologico, di orientare la ricerca e la sperimentazione e di promuovere una divulgazione ed un trasferimento della tecnica in modo qualificato tra gli operatori del settore.

---

<sup>36</sup> Dal punto di vista energetico la serra bioclimatica è una tecnologia passiva (priva di "protesi" impianti) per il controllo dei flussi termoisolanti finalizzata al miglioramento al comfort abitativo e alla riduzione dei consumi.

<sup>37</sup> Si riferisce a tutti i componenti e gli elementi che costituiscono l'involucro serra

Sarebbe quindi auspicabile, nell'affrontare le varie tematiche di tale agroecosistema, un approccio di tipo sistematico e multidisciplinare, in cui l'impiego di diverse tecnologie innovative possano sanare la conflittualità che ancora esiste tra processo produttivo da un lato ed esigenze di ordine energetico, ambientale ed economico dall'altro.

In questo contesto, appare necessaria applicare una strategia innovativa per ridurre l'impatto delle colture protette sull'ambiente, attraverso proposte metodologiche che richiedono lo sviluppo di approfondite analisi che mettano in relazioni parametri fisici, grandezze caratterizzanti il comportamento energetico del sistema e quelle indicative delle condizioni di benessere ambientale.

Pertanto sono stati presi in considerazione i più importanti fattori di interazione che condizionano la progettazione e l'utilizzazione del sistema serra (clima esterno locale, esposizione, pendenza del terreno, altimetria, ventosità, tipo di serra e materiale strutturale impiegato, specie vegetale coltivata, etc.) influenzando in maniera significativa il bilancio energetico.

Gli obiettivi perseguiti per una razionale gestione energetica, di qualsiasi sistema, nella fattispecie di quello serra, sono quelli della massimizzazione dell'apporto di energia e della limitazione della stessa.

Tuttavia tra gli elementi problematici che frenano lo sviluppo delle colture protette sostenibili nel ragusano si possono annoverare:

- § imprese agricole di ridotte dimensione
- § condizioni climatiche particolari
- § assenza di uno sviluppo eco-compatibile

#### IV.1 Oggetto di studio

È stato sviluppato il progetto di un modello teorico di sistema serra, avvalendosi dell'esperienza fatta nei moduli-container sperimentali a Santa Croce Camerina, utilizzando come riferimento luogo e dati ottenuti (vedi capitolo II).

Tale studio si è sviluppato in tre fasi fondamentali:

##### Ø I Fase di analisi

Fase in cui vengono esaminate grandezze idonee a definire requisiti fisico-tecnici in grado di mantenere valori ottimali a garanzia del benessere ambientale termico dell'ambiente confinato.

Determinazione di parametri di riferimento in funzione delle prestazioni termiche ed energetiche quali:

- § Temperatura;

- § Umidità relativa;
- § Anidride carbonica;
- § Radiazione solare.

#### Ø II Fase di progetto

È la fase progettuale in cui sono stati presi in esame i fattori composizionali più importanti, come le specifiche tecniche che vanno dal dimensionamento allo studio della tipologia strutturale al tipo di materiali impiegati. Tenendo presente: caratteristiche termo fisiche, compatibilità con l'ambiente, e ipotetica serialità del prodotto-progetto.

Particolare attenzione è stata rivolta anche a quelle che possono essere le esigenze ergonomiche di una coltura idroponica multilivello ipotizzata.

La fase si conclude con uno studio di prefattibilità di un impianto fotovoltaico in grado di supportare le necessità energetiche dell'intero impianto ipotizzato.

#### Ø III Fase

In questa fase il modello teorico verrà valutato a seconda dell'impatto che avrebbe sull'ambiente qualora venisse realizzato, secondo le normative vigenti di tutela per l'ambiente<sup>38</sup>.

### IV.2 Approccio e confini della ricerca

#### Ø I Fase di Analisi:

Sono state fatte delle considerazioni inerenti la climatologia e l'ecologia dei luoghi, definendo così quelle peculiarità ambientali in grado di influenzare le coltivazioni in serra.

L'analisi parte dallo studio dell'ambiente esterno, perché è questo che individua le scelte sulla tipologia da adottare, il suo orientamento, il tipo di involucro etc., in un secondo momento si passa all'ambiente che realmente interessa ai fini della coltivazione/produzione ovvero quello interno, direttamente influenzato dal primo ma che assume caratteristiche proprie definendo così il particolare ambiente serra. Per ambiente serra viene inteso il luogo in cui non sono ancora intervenuti operazioni artificiali (es. la climatizzazione), ma che abbia già subito, in virtù dell'effetto del semplice riparo, modifiche sostanziali rispetto l'esterno e relativamente ai parametri determinanti. (Bibl. Tognoni F.)

Sull'esperienza condotta presso Santa Croce Camerina è stato determinante conoscere i parametri termigrometrici e quei processi di scambio termico all'interno dell'ambiente confinato finalizzato alle colture idroponiche. Risolutivo inoltre è stata la cognizione dei rapporti fra sistema pianta e ambiente circostante e tutte le interazioni tra caratteristiche fisico/agronomiche, controllo dei parametri climatici esterni ed interni e parametri agro/biologici.

I dati sperimentali confermano quelli prodotti dalla letteratura scientifica che per un corretto accrescimento delle colture idroponiche la temperatura dell'ambiente deve essere compresa tra 10° e 30° C e con quella dell'acqua e del substrato compresa tra 15° e 22°C; per poter diminuire il tasso di anidride carbonica si deve garantire una ventilazione minima compresa tra 1 e 3 ricambi d'aria orari; l'umidità relativa deve essere compresa fra il 50 ed il 70 % e comunque non maggiore di 6,5 – 9% in peso. Mentre per quanto concerne l'illuminazione massima non deve essere troppo inferiore a quella naturale a cielo aperto, l'illuminazione e l'irraggiamento devono essere controllabili e modificabili con facilità.

#### IV.2.1 La Temperatura

La radiazione solare, la temperatura e la concentrazione di CO<sub>2</sub>, sono correlati tra loro per la determinazione di controllo della produzione finale. La temperatura è il fattore facilmente controllabile e modificabile, fattore di influenza la traspirazione della pianta che varia in funzione della ventilazione e della radiazione solare, ogni specie possiede cardinali termici diversi.

È importante che la temperatura all'interno del sistema sia il più possibile vicina ai valori ottimali delle varie specie in coltivazione, in base alla fase fenologica della coltura (tabella 7).

Ipotizzando l'impiego di colture come quelle già sperimentate a Santa Croce Camerina, la temperatura ottimale delle piante varierebbe in fase germinativa tra i 10 e i 12°C, e in fase accrescitiva tra i 18 e i 28°C. Ciò verrebbe garantito da un sistema di climatizzazione a pompe di calore opportunamente dimensionato (Allegato E) in grado di compensare, in inverno, le perdite di calore per radiazione, conduzione, convezione, prescindendo il ricambio d'aria che in inverno è pressoché nullo, e in estate evitare un surriscaldamento dell'aria molto elevato, cercando di portare i fattori ambientali a valori ottimali.

Stagione	T° media aria(°C)	T° media soluzione(°C)
Inverno	11-12	12-15
Primavera	20-24	20-22
Estate	24-28	26-28
Autunno	18-20	15-20

Tabella 7 - Intervalli di valori di temperatura media giornaliera di una soluzione nutritiva statica, non arieggiata, di 15 cm di profondità, registrati per una coltura in floating system di ortaggi da foglia, nelle quattro stagioni dell'anno – (tratto da: Bibl. Pardossi A)

#### IV.2.2 Umidità relativa

Il grado igrometrico nell'ambiente serra è estremamente variabile ed è fortemente condizionato dalla temperatura e dal bilancio idrico. Tenendo presente che quest'ultimo varia da 60% a 25% quando la temperatura passa da 10° a 25°C. Innalzando l'energia radiante esterna, in serra si innalza rapidamente la temperatura dell'aria, in conseguenza della sua debole capacità calorifica; il risultato sarà quello di una forte flessione nel grado igrometrico. Si è notato come all'interno dei moduli-container, mediamente si ha una temperatura di 15°C con uno stato igrometrico del 70%, ma nel caso di un brusco innalzamento di temperatura fino a 25°C il tenore di umidità si abbassa al 21%, in teoria, per riportarlo al 70% occorre vaporizzare circa 20g d'acqua per mc di aria. La variazione non deve avvenire bruscamente in quanto l'evapotraspirazione non riuscirebbe a contenere l'abbassare U.R., inversamente gli abbassamenti repentini di temperatura possono provocare condensazione dell'acqua con numerose conseguenze dannose. Infatti è importante conoscere l'evapotraspirazione reale fornita dal sistema pianta-substrato, se il consumo di acqua da parte della pianta diviene eccessivo fino a superare la disponibilità massima, la pianta reagisce con la regolazione degli stomi<sup>39</sup>, riducendo le aperture e quindi in ultima analisi la fotosintesi.

Pertanto nel nostro modello teorico trattandosi di un modulo di 1700 m<sup>3</sup> occorre vaporizzare 34 kg di acqua.

#### IV.2.3 Anidride carbonica

Importante per il processo di fotosintesi è la concentrazione di anidride carbonica in quanto ne costituisce la materia prima. Si è osservato che durante le prime ore del mattino di una giornata serena la concentrazione di CO<sub>2</sub> all'interno del container è più alta di quella atmosferica.

Con l'elevarsi della intensità luminosa e quindi del processo di organizzazione, si ottiene una rapida flessione di questo valore che raggiunge livelli molto bassi (circa 200 p.p.m.). Per alcune ore questo livello si mantiene pressoché costante finché l'intensità luminosa non inizia a diminuire; da questo momento si ha un graduale innalzamento della concentrazione di CO<sub>2</sub> che raggiunge i valori iniziali. Nei mesi invernali il livello in CO<sub>2</sub> all'interno di una serra è correlata principalmente alla energia solare ed alla temperatura esterna.

#### IV.2.4 Intensità della radiazione

---

<sup>39</sup> Sono strutture annesse all'epidermide, disposte su tutte le parti erbacee delle piante, in modo particolare sulla pagina inferiore della foglia e sono presenti in tutte le piante. Sono le uniche cellule, in tutta l'epidermide, a possedere i cloroplasti. La loro funzione è di consentire lo scambio gassoso fra interno ed esterno vegetale, in particolare la fuoriuscita di vapore acqueo e l'entrata di ossigeno e di anidride carbonica



Le condizioni di illuminazione da un punto di vista qualitativo e quantitativo sono fondamentali ai fini di una buona produzione per un qualsiasi tipo di coltivazione. La luminosità di una serra dipende da fattori meteorologici dell'ambiente, dalle caratteristiche della costruzione ed in particolare del materiale di copertura (Tabella 8).

Intensità luminosa lux	Temperatura	
	lattuga	pomodoro
0	5	11
5.000	7,5	18
10.000	10,5	19,5
20.000		22,5
25.000		23,5
30.000		24,5
35.000		25,5
40.000		27
45.000		28
50.000		29

Tabella 8 - Correlazione tra temperatura ottimale ed intensità luminosa per alcune specie ortive (Tratto da Alpi A., Tognoni F. – tratto da A. Nisen, 1963)

Le scelte progettuali dell'involucro sono state fatte dopo uno studio sulle caratteristiche di trasferimento radiativo dei principali materiali da copertura; La scelte di tali materiali risponde alle esigenze prefissate.

È noto oramai come qualsiasi materiale di copertura utilizzato rifletta una frazione di luce compresa tra il 20 ed il 30% a livello della superficie, nel momento in cui i raggi solari la investono con una incidenza normale. Quando l'angolo di incidenza dalla posizione suddetta aumenta (da 90° a 180°), le perdite per riflessione si innalzano vertiginosamente fino ad un'incidenza radente (180°). Tali raggi non riescono a penetrare dentro la serra e sono totalmente riflessi dalla superficie del materiale di copertura.

Fattore interessante è come porre l'inclinazione delle falde della copertura, infatti tali riferimenti sono stati presi in considerazione in una prima fase progettuale in cui veniva proposta una tipologia con tetto a falde asimmetriche. L'asimmetria del tetto modifica le condizioni di luminosità rispetto ad una posizione simmetrica. Infatti disponendo, la falda rivolta a Sud con una inclinazione di 27° sull'orizzontale e l'altra falda situata verso Nord con una inclinazione di 55° si ottiene, secondo dati di letteratura scientifica<sup>40</sup>, una luminosità superiore dell'11% rispetto

<sup>40</sup> A. Nisen, 1963, ricerche condotte a Gemloux

ad una serra con tetto simmetrico a versanti uguali ed inclinati di  $35^\circ$ . Un'ulteriore aumento della luminosità (11%) si ottiene portando sino a  $65^\circ$  la inclinazione della falda che guarda Nord<sup>41</sup>.

Tuttavia nelle serre con coperture in materiale plastico per aumentare la luminosità si adottano coperture a forma parabolica o semicilindrica; in tal modo il flusso luminoso che investe la serra è di circa il 90% della luce totale e quindi attraverso i materiali di copertura passa una frazione superiore al 75% (fig. 24).

Nella pratica applicazione è opportuno che la serra abbia un orientamento Est-Ovest al fine di realizzare una buona luminosità nel periodo invernale.

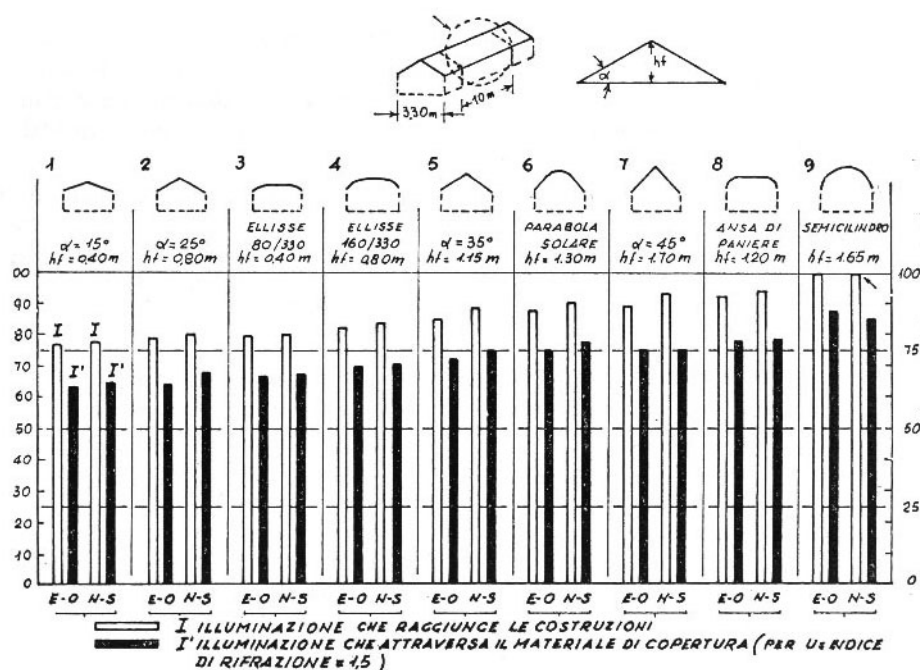


Fig. 24 - Quantità di luce ricevuta da una serra in relazione all'orientamento ed al tipo di tetto<sup>42</sup>  
(Tratto da: Alpi A., Tognoni F. – tratto da A. Nisen, 1963)

#### IV.2.5 Ciclo produttivo

Le coltivazioni a più alto reddito vengono condotte in serra, all'interno di strutture fisse quindi non trasferibili periodicamente su suoli vergini, se non a costi assolutamente insostenibili.

Il continuo ripetersi delle colture sulla stessa superficie, ne diviene perciò il più importante fattore limitante.

<sup>41</sup> Questo tipo di copertura potrebbe risultare adatto in particolari situazioni ambientali, e cioè durante l'inverno ed in zone caratterizzate da scarsa luminosità.

<sup>42</sup> A. Nisen elaborò tale metodo di calcolo considerando l'altezza e l'azimut del sole nelle quattro più rappresentative, ovvero: gli equinozi e i solstizi

La scelta di impiegare tecniche di coltivazione alternative in serra a quelle tradizionali su suolo, nasce anche da quelle che possono essere direzioni imprenditoriali, legata a fattori espressamente economici e precise motivazioni tecniche ed ambientali. La scelta si è orientata verso l'adozione, fra i vari sistemi colturali senza suolo, del floating system a ciclo chiuso economicamente più conveniente (con sistema di raccolta, ricircolo e depurazione delle soluzioni esauste) per la coltivazione di piante da foglie (e/o piante medicinali) rivolte al mercato IV gamma, che per il territorio siciliano potrebbe rappresentare un'opportunità per la ripresa economica.

Il sistema si presenta facilmente automatizzabile tra i fuori suolo, quindi prelude maggiori oneri iniziali necessari per la realizzazione; tuttavia il maggiore vantaggio si avrebbe nel consentire l'effettuazione di colture fortemente intensive a bassissimo impatto ambientale. Anche dal punto di vista gestionale, il sistema di coltivazione richiede un intervento ogni 15-20 giorni circa, cioè quando la concentrazione salina della soluzione reflua tenda ad elevarsi.

Pertanto in previsione di impiegare tale sistema, il ciclo produttivo sarà di tipo standard in cui la semina (del tutto meccanizzata) avviene su pannelli di polistirolo<sup>43</sup> dotati di fori e riempiti con torba, perlite o vermiculite o loro miscugli, vengono tenuti in celle di germinazione per 24-72 ore, fino allo spuntare delle prime foglie, successivamente trasferiti nelle vasche di coltura contenenti la soluzione. Le vasche di coltivazione, di misura variabile a seconda del modulo utilizzato con una profondità di 30 cm circa (in cui vengono garantiti almeno 20 cm di livello di soluzione) allestite fuori terra con: pannelli preformati, separatori in muratura, tavole in legno, tubi. Le vasche in seguito impermeabilizzate con film plastici<sup>44</sup> e dotate di dispositivi di controllo, di reintegro della soluzione e di ossigenazione vengono riempite con la soluzione nutritiva<sup>45</sup>. A

---

<sup>43</sup> in previsione di un riutilizzo, vengono puliti dai residui, lavati e disinfettati. Si prevede che possono essere rimpiiegati per almeno 10 cicli e alla fine del loro ciclo di vita possono essere riciclati come materiale base per i pannelli isolanti per l'edilizia.

<sup>44</sup> di larghezza tale da consentire la copertura del fondo e chiusura dei lembi in prossimità del colletto delle piante. Tale impermeabilizzazione ha lo scopo di tenere gli apparati radicali e la soluzione nutritiva al riparo dalla luce. La luce favorisce lo sviluppo di alghe nella soluzione, e determina l'inattivazione di alcuni chelati di ferro. Per questo impiego possono essere utilizzati film in polietilene, risultano quindi di colore nero nella parte interna e bianco all'esterno. Si raggiungono in questo modo due obiettivi: tenere gli apparati radicali al riparo dalla luce e migliorare la diffusione della radiazione luminosa all'interno della serra.

<sup>45</sup> Affinché la soluzione formi un "film" alla base della canaletta di coltivazione, è necessario la stessa sia perfettamente orizzontale. L'erogazione dovrà avvenire, in modo continuo, nei volumi sufficienti a determinare la formazione di un velo che copra per intero la base del supporto. Il primo problema dovrà essere risolto in sede di montaggio degli impianti, controllando che le canalette poggino su un piano perfettamente orizzontale. Il secondo si risolve adottando erogatori con portata regolabile da una saracinesca. Questo consentirà di effettuare piccole variazioni di portata sulle singole linee di coltivazione, eliminando eventuali difetti nella formazione dei film di soluzione, dovuti ad errori nella messa a punto delle pendenze.

Questo tipo di erogatori consentirà inoltre di effettuare le necessarie variazioni di portata nelle linee, durante il ciclo di coltivazione. È indispensabile infatti poter adottare la portata, oltre che alle esigenze della coltura nelle sue diverse fasi fenologiche, ai crescenti ostacoli opposti al regolatore deflusso della soluzione dalla massa degli apparati radicali che si sviluppano lungo la base delle canalette.

questo punto le vasche sono pronte per ospitare il ciclo colturale. A completamento del ciclo, i pannelli vengono raccolti dalla vasca e direttamente (o con l'ausilio di un breve nastro trasportatore) convogliate nella macchina per il taglio e il lavaggio e con l'ausilio dell'operatore il prodotto può essere confezionato.

Dello scarto ottenuto dal taglio si può ipotizzare o uno studio di fattibilità dell'intero sistema considerando l'utilizzo della biomassa prodotta per generare calore da impiegare nel riscaldamento delle serre durante il periodo invernale, oppure semplicemente conferire gli scarti in una apposita compostiera per favorirne la decomposizione aerobica della frazione organica e rivendere il prodotto ottenuto.

La presenza costante di grandi volumi di soluzione, coperti da uno strato di polistirolo con effetto isolante, permette di sfruttare l'effetto di volano termico dell'acqua. La temperatura della soluzione influenza sia la velocità di sviluppo delle piante che la disponibilità di ossigeno per le radici. (Bibl. Pardossi A.)

Il sistema chiuso (fig. 25) prevede il ricircolo della soluzione nutritiva<sup>46</sup>, con un opportuno aggiustamento del pH e della conducibilità elettrica (EC) dopo essere stata disinfettata e ossigenata. Le componenti integranti del sistema a ciclo chiuso sono:

1. Sorgente di acqua, nel nostro modello teorico proveniente da un bacino di raccolta di acqua piovana;
2. Filtri che impediscono il passaggio di alghe provenienti dal bacino di raccolta;
3. Pompe che prelevano l'acqua dalla sorgente e la distribuiscono alla coltura, che fanno circolare la soluzione nutritiva ossigenandola e che all'esaurimento della soluzione nutritiva svuotano le vasche;
4. Fertirrigazione, non essenziale, costituito dai contenitori della soluzione nutritiva (da 1 a 3 a seconda delle disponibilità economiche), da pompe dosatrici, miscelatori, sonde di pH e EC nella vasca e da una centralina. Sulla base della misura in linea del pH e dell'EC, o evapotraspirazione prepara la soluzione nutritiva e la distribuisce alla coltura;
5. Eventualmente, l'impianto di disinfezione che può essere di tipologie diverse.

---

<sup>46</sup> Per riutilizzare la soluzione nutritiva restante, si possono applicare delle procedure di purificazione, attraverso processi di filtrazione o sottoponendola a radiazioni UV (ultravioletto) per limitare le infezioni micotiche o batteriche, potrebbe essere impiegata in altri cicli colturali. Questo metodo presenta molti limiti.

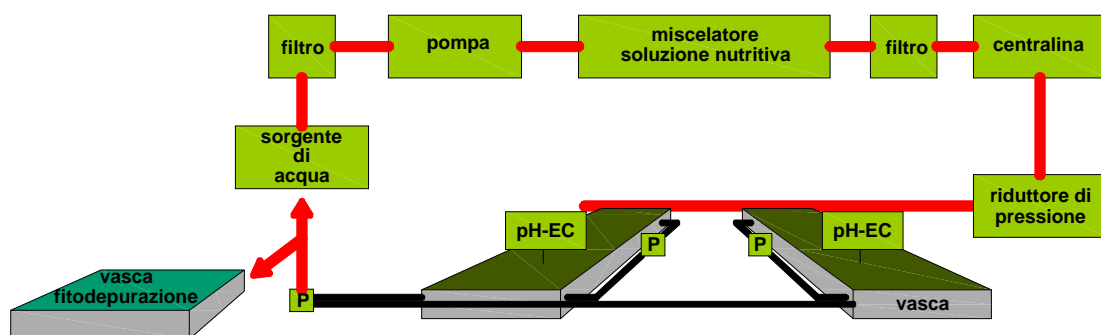


Fig. 25 – forma schematica del sistema a ciclo chiuso in tutte le sue componenti.

#### IV.2.6 Riutilizzo d'acqua piovana captabile

Fra i problemi presenti nella regione Siciliana uno è quello della scarsità di distribuzione dell'acqua, per questo le colture fuori suolo con sistema chiuso in particolare, ne aumenterebbero l'efficienza. La soluzione a tale problema può essere l'utilizzo dell'acqua piovana, che opportunamente raccolta, viene convogliata in vasche di accumulo pronta ad essere utilizzata per la coltivazione (fig. 26).

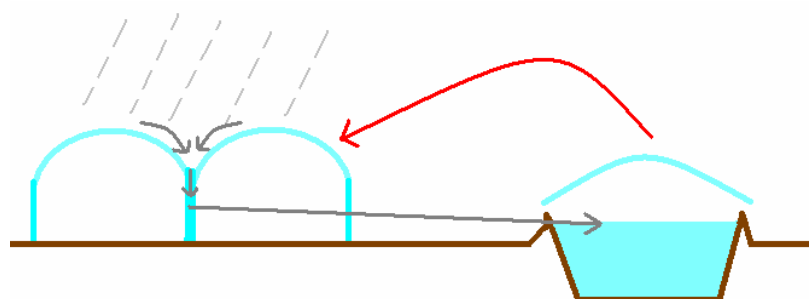


Fig. 26 - schema del sistema di recupero dell'acqua piovana e vasca esterna di raccolta  
Tratto da Leopizzi L.

Il sistema di raccolta e riuso delle acque meteoriche in considerazione della grande superficie disponibile, della prevista necessità di grandi volumi d'acqua utili all'irrigazione dell'ampio campo di coltura oltre all'elevato valore di umidità relativa richiesto, l'impianto utilizzerà l'acqua piovana captata dalle coperture attraverso i canali di gronda a vista od occultati convogliando in cisterne in (PP) o in (HDPE), adeguatamente dimensionate e sagomate dimensionate per essere allocate all'interno delle serre ed assolvere alla funzione.

L'apporto di acqua piovana annua è di: 105mila litri/anno

Pertanto si prevede un bacino di accumulo con una capienza di circa (Allegato F): 6000 litri.

Stimando il risparmio economico di circa 200 euro/anno

#### IV.2.7 Impianto di fitodepurazione

A fine vita la soluzione nutritiva esausta, ricca di elementi nutritivi rappresenta un problema in quanto risulta tossica se accumulata nel terreno. In genere le soluzioni esauste possono essere smaltite o tramite fertirrigazione qualora si disponga di superfici libere sufficienti a non determinare accumulo degli elementi chimici oppure si potrebbe utilizzare un trattamento di fitodepurazione.

La fitodepurazione e l'evapotraspirazione rappresentano un trattamento di depurazione di tipo naturale che sfrutta la capacità di alcune piante di assorbire la parte acquosa del refluo e di degradare molte sostanze organiche. In realtà la sua funzionalità si basa su un sistema ben più complesso di processi biochimici che coinvolgono anche i microrganismi del terreno ed il biofilm prodottosi alla superficie del sistema drenante.

La soluzione, eventualmente pretrattata, immessa nel comparto di fitodepurazione, opportunamente dimensionato, conterebbe su un abbattimento del carico inquinante non indifferente.

L'impianto, in progetto, è costituito da un bacino a sezione trapezoidale realizzato con teli in HDPE (High Density PolyEthylene) termosaldati sul posto (fig. 27). Il fondo viene colmato per uno spessore di circa 40 cm, ma variabile in funzione del dimensionamento specifico, di materiale drenante generalmente costituito da ghiaia, all'interno del quale si inserisce il sistema di distribuzione della soluzione realizzato con tubazioni microfessurate di materiale plastico. Lo strato superficiale è invece costituito dal terreno autoctono opportunamente selezionato in fase di cantiere. Alla superficie vengono piantumate varie specie di piante perenni erbacee<sup>47</sup> ed arbustive opportunamente scelte tra quelle maggiormente igrofile, ricercando un giusto compromesso tra l'aspetto estetico e quello funzionale. All'uscita si prevede sempre un pozzetto munito di pompa per il rilancio delle acque di scarico qualora lo si ritenesse necessario.

(Bibl. Art. Recycling ..., F. C. Campione, A. Campodonico, S. Davi)

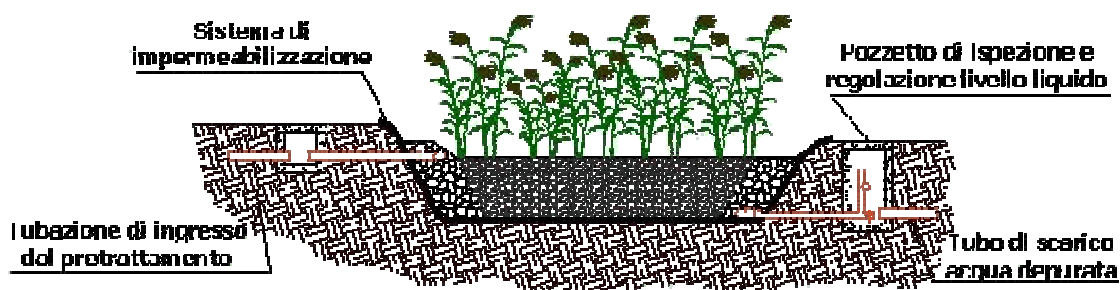


Fig. 27 – disegno schematico di realizzazione dell'impianto di fitodepurazione  
Tratto da: [www.fitodepurazione.it](http://www.fitodepurazione.it)

<sup>47</sup> Tra le erbacee, flora tipica degli ambienti umidi distinti in due gruppi: elofite o macrofite ed idrofite.

#### IV.3 II Fase: il progetto

A questo punto si procede alla progettazione architettonica dimensionale del sistema serra, tenendo in considerazione le caratteristiche legate ai materiali alle tecniche costruttive e alle reali necessità locali.

La fase progettuale comprende l'utilizzo di materiali ed elementi assemblabili in vario modo in grado di adattarsi a qualsiasi condizione geo-climatica ed orografica, ma soprattutto che siano materiali che al loro fine vita vengono smaltiti in maniera consapevole.

La progettazione di tale sistema è stato pensato fondamentalmente per approssimare un sistema serra, macchina energivora, che introduca tecnologie energetiche eco-compatibili. Un sistema energeticamente efficiente in grado di conciliare il rapporto tra consumo di energia diretta e produzione o per unità di prodotto o per unità di cicli colturali. (bibl. art. Campiotti C. A.)

Pertanto in fase progettuale sono state sviluppate le seguenti tematiche:

- a. specifiche tecniche: dimensionamento;
- b. esigenze ergonomiche colturali;
- c. tipologia strutturale
- d. studio di materiali;
- e. caratteristiche termo fisiche di ogni singolo componente;
- f. studio di prefattibilità dell'impiego dell' impianto fotovoltaico per l'alimentazione dell'intera serra agricola
- g. serialità del prodotto-progetto.

##### IV.3.1 Specifiche tecniche: dimensionamento

Si sono volute prima definire le caratteristiche fisiche formali e dimensionali, quindi delineare un tipo modulare di serra che potremmo indicare come "simplex" ovvero base di metri 10,00x3,30 che dovrà essere aggregabile, facilmente riproducibile e ripetibile, di media grandezza, con una superficie di 33,00 mq a modulo, con una larghezza di 3,30 metri (distanza tra telai), e di altezza a partire da 4,28 metri (Tavole II, III). Un modulo completo sarà composto da 7 ripetizioni da 10,00x3,30, per un totale di 231 m<sup>2</sup> e 927 m<sup>3</sup>.

Come già detto per la copertura è preferibile una volta a botte al tetto a capanna, a due falde, perché l'andamento della copertura permette di avere il massimo apporto di radiazione solare in ogni momento della giornata risultando sempre perpendicolare ai raggi solari.

Tale sistema può essere impiegato sia nella versione isolata che in aggregazione lineare adattabile a qualsiasi condizione climatica, orografica e tipo di pratica colturale.

Tuttavia la proposta progettuale ha individuato due punti fondamentali:

- § energetico-costruttivo, in base alle caratteristiche tipologiche proprie di ogni parte dell'involucro;
- § geometrico-strutturale, ma prescindendo dalla effettiva forma dei singoli elementi strutturali.

#### IV.3.2 Tipologia strutturale

La struttura portante metallica è ottenuta dalla ripetizione di un modulo base le cui dimensioni in pianta ed in alzato sono state studiate per l'installazione in copertura di un impianto fotovoltaico completamente integrato.

Si prevede una fascia di pertinenza per agevolare e facilitare la movimentazione con i mezzi di lavoro in fase di installazione o di manutenzione.

La struttura viene collocata sul terreno, orientata in posizione Sud estesa in lunghezza, lungo l'asse Est-Ovest, realizzata con moduli in elementi portanti di acciaio trattato con zincatura a caldo. Questi, resistenti alla corrosione atmosferica con fissaggio aereo a mezzo di travi in scatolare a sezione circolare (tubolare), esenti da manutenzioni e con montanti, tiranti e catene con analoghe caratteristiche, collegati tra loro da giunti a collare fissi.

La struttura viene dimensionata in larghezza e lunghezza specificatamente per il luogo di installazione con una altezza minima di circa 2,5 alla gronda ed una altezza massima al colmo nel rispetto del regolamento edilizio vigente sul territorio tipicamente da 5-7 metri. La struttura è ancorata a terra mediante la realizzazione di piano di fondazione costituito da plinti costruiti in calcestruzzo, opportunamente dimensionati in forma e consistenza, a seconda della conformazione geologica del terreno, ai plinti sono ancorati i montanti verticali della struttura della serra.

I plinti in fase di getto sono dotati di armature a gancio in modo da poterne facilitare la rimozione a fine del ciclo di produzione.

Sono previsti degli accessi, lungo i lati corti, opportunamente dimensionati in grado di assicurare una agevole movimentazione dei piccoli mezzi meccanici necessari per lo svolgimento dell'attività agricola.

Sui lati lunghi della serra sono previste delle finestrate, rispettivamente sul lato Nord posizionate in alto e sul lato Sud in basso, queste garantiscono la naturale ventilazione all'interno dell'intero sistema.

La posa dei moduli fotovoltaici sulla copertura della struttura è tipicamente realizzata su un piano di inclinazione fissa di circa 27°/30°.



Tuttavia la struttura deve immaginarsi ampliabile per moduli aggregabili a schiera, in linea e/o secondo particolari esigenze si potrà adattare alla morfologia del terreno senza modifiche, e potrà sopportare gli usuali carichi di: vento, neve, praticabilità di servizio e manutenzione.

Come più volte detto i vincoli esigenziali imposti dalla ricerca influenzano e costituiscono le scelte decisionali che richiedono in pratica il raggiungimento dei seguenti obiettivi costruttivi e produttivi, sia per le strutture che per l'involucro: impiego di pochi tipi di elementi modulari, industrializzati e standardizzati. Tali però da consentire: autocostruzione, smontabilità, modificabilità, ampliabilità, adattabilità alla morfologia del terreno, manutenibilità e dall'interno della serra sostituibilità autonoma di ogni elemento con limitazione del peso proprio.

#### IV.3.3 Materiali impiegati nella struttura

Il modello teorico pur prevedendo durante la fase di realizzazione il contenimento dei costi iniziali, tiene in considerazione che questi influiscono nella voce di spesa come quota maggiore, ma costituiscono un investimento di notevole vantaggio trattandosi di una somma relativa soltanto alla fase di costruzione e non di esercizio. Convertendo il sistema serra da tipo a struttura lignea, soggetto agli eventi ambientali, temporaneo e precario ad un sistema più duraturo e stativo, quindi economico dal momento che è previsto l'impiego di elementi esistenti nel mercato locale "a chilometro zero", attraverso semplici sistemi strutturali di tipo "S/R" (struttura e rivestimento) con tecnologie a secco. Utilizzando schemi statici e costruttivi a telai multipli in acciaio<sup>48</sup>, costituiti da pochi elementi modulari (aste e nodi) standardizzati al fine di semplificare la reperibilità, il trasporto, la produzione, il montaggio e smontaggio favorendone la manutenzione, il riutilizzo a freddo e la rilocalizzazione o la trasformazione secondaria nel tempo.

#### IV.3.4 Materiali impiegati per involucro parzialmente o totalmente trasparente

Gli elementi base dell'involucro possono essere definiti in versione alternative o complementare, per l'involucro portato lastre rigide piane od ondulate in senso trasversale, di dimensioni standard come:

§ polycarbonato, commercialmente noto anche Macrolon, Lexan, ottenibile in lastre piane trasparenti (anche alveolate) di buone caratteristiche ottiche ma la cui durata nel tempo è molto limitata ingiallisce nel tempo; ma è sufficientemente leggero e abbastanza resistente agli sforzi (poco agli urti) ma ha un coefficiente di dilatazione termica elevato;

---

<sup>48</sup> Fe360, Fe430, il materiale come si sa, ha un'ottima resistenza agli agenti atmosferici, un'ottima resistenza statica e una lunga durata, ma ha un coefficiente di dilatazione termica particolarmente elevato il che richiede qualche accorgimento di termo-coibenza

§ L'PMMA in lastre piane od ondulate (PoliMetAcrilato di Metile, commerciale chiamato anche plexiglas, perspex etc.) al contrario del precedente ha ottime caratteristiche ottiche (elevata trasparenza) che conserva a lungo, un buon peso specifico e una buona resistenza statica (rispetto a materiali simili) unita a una elevata infrangibilità e a una facile formabilità. Buona resistenza antigrandine ed al degrado nel tempo, facilità e rapidità di connessione permanente delle parti costituenti ciascun pezzo, la cui ottenuta monolicità permane immutata nel tempo.

Tuttavia deve essere garantita una trasparenza mediamente buona. La rilevante leggerezza degli elementi scelti e dell'insieme riduce sensibilmente i problemi del trasporto, nonché quelli della movimentazione in sede di montaggio e smontaggio. Grazie alla componibilità e alla maneggevolezza dei componenti può non richiedere personale addestrato o attrezzature particolari, sia in fase di montaggio che in quelle eventuali successive di ampliamento.

#### IV.3.5 Specifiche tecniche

Le specifiche tecniche delle dotazioni studiate in tale modello sono:

- a. Sistema di produzione dell'energia elettrica installato sulla copertura esposta a Sud (orientata longitudinalmente secondo l'asse Est-Ovest), di impianto a pannelli fotovoltaici con relativi supporti di sostegno;
- b. Sistemi di chiusura verticale e inclinato esterno con rivestimento trasparente dell'involucro in lastre laminate in continuo ondulate curve o rette e stratificate di resine poliestere isoftaliche termoindurenti tipo Cristal (neutro), con ridotto contenuto di stirolo, stabilizzate ai raggi UV, autoestinguenti e rinforzate con fibra di vetro (PRFV), per i lati Nord e Sud;
- c. Sistemi di chiusura verticale esterna con rivestimento semitrasparente dell'involucro in lastre laminate in continuo ondulate curve o rette e stratificate di resine poliestere ortoftaliche termoindurenti tipo bisabbiato (opalino), con ridotto contenuto di stirolo, stabilizzate ai raggi UV, autoestinguenti e rinforzate con fibra di vetro (PRFV), per i lati esposti ad Est ed Ovest;
- d. Sportellature di serie al colmo con una gamma di profili in alluminio con guarnizioni per consentire una chiusura a tenuta;
- e. Aperture laterali a richiesta a sporgere o ghigliottina (saliscendi).

#### IV.3.6 Esigenze ergonomiche colturali

Per esigenze ergonomiche del sistema si intendono le interazioni tra l'operatore e l'intero sistema-serra inteso più che come ambiente di lavoro come "macchina per lavorare"<sup>49</sup>, valutando la qualità di questo rapporto attraverso l'analisi degli effetti della tecnologia produttiva sull'uomo a livello di salute, di prestazione e di comportamento fattori fondamentali per migliorare le prestazioni.

Il sistema serra del modello teorico è stato pensato per essere fruito facilmente in tutte le sue parti tenendo conto che le lavorazioni previste siano:

- § coltivazioni floating system di ortaggi e piante medicinali;
- § lavorazioni di tipo manuale e/o con l'ausilio di piccoli utensili;
- § meccanizzazione delle fasi salienti delle colture (es. semina, taglia e lava alimentata elettricamente);
- § impianto di fertirrigazione con circuito idraulico chiuso;
- § trattamenti antiparassitari.

Il fine è quello di creare un ambiente più salutare per il personale e di un prodotto più sano per il consumatore.

#### IV.3.7 Caratteristiche termo fisiche ed effetto serra

Partendo dal principio che la qualità dell'irraggiamento solare non è equivalente a quello dell'irraggiamento terrestre, tutte le radiazioni sono in parte riflesse, in parte trasmesse ed in parte assorbite e trasformate in calore. Un corpo che assorbe energia radiante aumenta la sua temperatura ed emette a sua volta energia sotto forma di irraggiamento. La parte riflessa ed assorbita rappresenta solo il 10-20% del totale. Questo valore è naturalmente modificabile dall'inclinazione e dall'orientamento delle pareti. Dunque la radiazione verrà riflessa o assorbita e trasformata in calore dalle pareti della serra; in genere l'assorbimento interessa il 95% (come un corpo nero), l'energia dell'atmosfera è perciò trasformata in calore per assorbimento da parte del rivestimento ed è rimessa per irraggiamento metà verso l'esterno e metà verso l'interno.

Le radiazioni<sup>50</sup> esercitano alcune azioni morfogenetiche e fisiologiche, ma il loro principale effetto è quello termico, ed infatti quando sono assorbite da un corpo ne determinano il riscaldamento.

Ai fini della temperatura dell'atmosfera della serra sono determinanti le radiazioni infrarosse corte che passano attraverso i materiali di copertura. pertanto i materiali impiegati devono

---

<sup>49</sup> Le Corbusier intendeva la casa come "la macchina per abitare"

<sup>50</sup> Distinguendo più tipi di radiazioni infrarosse ed esattamente quelle a corta lunghezza d'onda comprese tra 760 e 1000 mμ, quelle a media lunghezza d'onda comprese tra 1000 e 2500 mμ e quelle lunghe oltre 2500 mμ.

possedere una elevata capacità di trasmissione all'infrarosso corto per essere assorbito dalle piante coltivate, dal substrato e da altri materiali presenti sotto protezione.

(Bibl. Tognoni F.)

Nel caso in cui la temperatura vanno al di sotto o al di sopra di quelle ottimali, è previsto un impianto a pompa di calore elettrico alimentato dal sistema FV. Tale impianto deve compensare le perdite e/o l'acquisizione di calore per effetto di radiazione, ricambio d'aria, conduzione, convezione e a pavimento.

Nel calcolo del bilancio termico (fig. 28) (Allegato E) è necessario tenere in considerazione quei fenomeni fisici tipici di una serra quali dispersioni calorifiche di rilievo che avvengono per conduzione-convezione, per ricambio d'aria e per irraggiamento attraverso il substrato di coltivazione

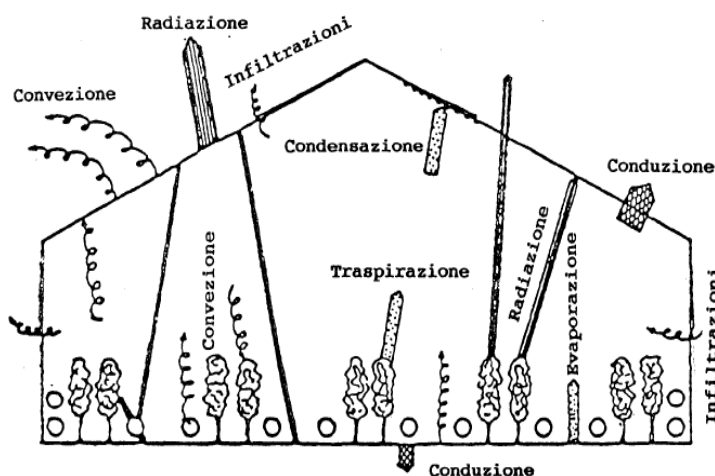


Fig. 28 - Scambi termici all'interno di un sistema serra

Tale dato è importante per poter ricavare la potenza del generatore elettrico<sup>51</sup> da installare.

Si prevede un sistema di ventilazione naturale basata sul fatto che l'aria calda interna della serra aumenta ed esce dalle aperture sul soffitto con entrate laterali dal basso (fig. 29). Si creano delle correnti d'aria che ventilano lo spazio coperto.

51 Normativa vigente riguardo installazione di impianti di condizionamento in serre: DPR 06/12/91 n.447 "Regolamento di attuazione della Legge 5 Marzo 1990 n. 46 in materia di sicurezza degli impianti"; D.M. 20/02/92 "Approvazione del modello di dichiarazione di conformità alla regola dell'arte di cui all'art.7 del regolamento di attuazione della Legge 46/90"; DM 9 febbraio 1989 "Norme di sicurezza antincendi da applicarsi nella progettazione ed installazione di impianti di produzione calore a servizio delle serre"; D. Lgs. 25/11/96 n.626 "Attuazione della direttiva 93/68/CEE in materia di marcatura CE del materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro taluni limiti di tensione"; D. Lgs. 31/07/97 n.277 "Modificazioni al decreto legislativo 25 novembre 1996 n. 626, recante attuazione della direttiva 93/68/CEE in materia di marcatura CE del materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro taluni limiti di tensione".

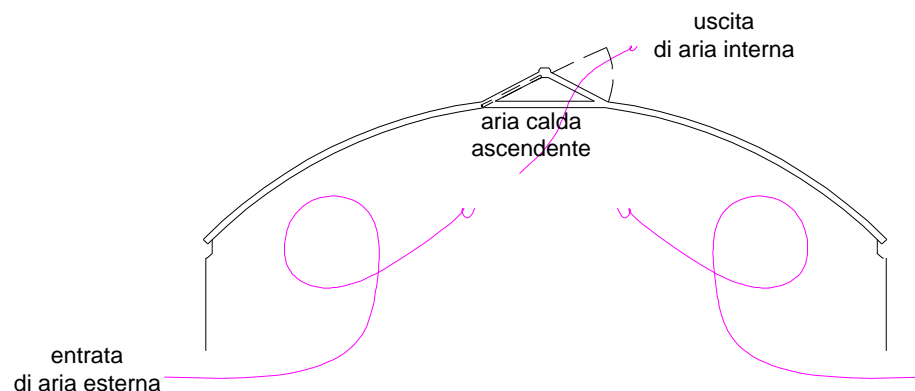


Fig. 29 – schema del sistema di ventilazione naturale

La ventilazione naturale esige grandi aperture, dal 15% al 25% della superficie coperta. Per ottenere una buona distribuzione dell'aria si è ritenuto di coprire tutta la lunghezza della serra e, per i periodi freddi, oppure per poter regolare l'umidità, è necessario poter chiudere in modo progressivo, parziale o totale le aperture previste. La manovra può essere manuale o automatica ma sarà sempre opportuno che sia meccanizzata, centralizzando il suo comando. Nei cambiamenti bruschi del clima bisogna poter reagire con rapidità e in qualsiasi momento, per cui se il sistema è automatico bisognerà dotarlo di sensori per la pioggia e per il vento per poter agire.

Tuttavia, con questo tipo di ventilazione è difficile conoscere il tipo di rinnovo d'aria ottenuto, è impossibile regolare la velocità di incidenza dell'aria sulle piante, è troppo condizionato alle condizioni meteorologiche e nel caso di serre riscaldate è difficile conservare l'energia a causa della chiusura difettosa delle finestre o dei camini centrali particolarmente lunghi, soprattutto quando i capannoni invecchiano dopo un lungo periodo d'uso.

#### IV.3.8 Dimensionamento di massima dell'impianto fotovoltaico

Il metodo di calcolo consente di progettare un sistema contenente una batteria di accumulatori partendo dalla radiazione globale giornaliera di Santa Croce Camerina. Una volta nota l'energia richiesta dall'utenza e la capacità del sistema di accumulo, si procede al dimensionamento di massima del campo fotovoltaico che dovrà garantire sia l'alimentazione del carico, sia la carica delle batterie.

I criteri base per il dimensionamento per determinare le dimensioni del resto dei componenti dell'impianto sono i seguenti:

1. Calcolo dell'energia giornaliera richiesta dall'utenza (Wh/giorno);
2. Calcolo della necessaria potenza del generatore fotovoltaico (Wp);
3. Calcolo dell'accumulo (Ah);

4. Scelta del regolatore;
5. Scelta dell'inverter.

In primo luogo viene calcolata la radiazione globale, rilevando l'insolazione locale, facendo riferimento, noti latitudine, longitudine e altitudine, ai suoi valori di azimut ed all'inclinazione dei moduli fotovoltaici, ottenendo così un valore univoco di irraggiamento<sup>52</sup> (Tabella 9) (Allegato G).

A questo punto si procede a valutare l'orientamento e l'angolo di tilt<sup>53</sup> dei pannelli.

La scelta ricade su i sistemi ad inclinazione fissa, al momento la più economica e di facile gestione, con orientamento verso Sud, in maniera da essere esposti al sole dall'alba al tramonto.

L'inclinazione del pannello deve essere quanto più possibile perpendicolare ai raggi del sole<sup>54</sup> per ottimizzare l'energia captata mediamente in un anno e necessita di una posizione con azimut nullo (orientato a Sud) ed un'inclinazione pari alla latitudine meno 10°.<sup>55</sup>

Mese	Ostacolo	Rggmm su sup.incl.	U.misura
Gennaio	assente	3,58	kWh/m <sup>2</sup>
Febbraio	assente	4,21	kWh/m <sup>2</sup>
Marzo	assente	4,97	kWh/m <sup>2</sup>
Aprile	assente	5,55	kWh/m <sup>2</sup>
Maggio	assente	6,02	kWh/m <sup>2</sup>
Giugno	assente	6,14	kWh/m <sup>2</sup>
Luglio	assente	6,2	kWh/m <sup>2</sup>
Agosto	assente	5,94	kWh/m <sup>2</sup>
Settembre	assente	5,22	kWh/m <sup>2</sup>
Ottobre	assente	4,63	kWh/m <sup>2</sup>
Novembre	assente	3,62	kWh/m <sup>2</sup>
Dicembre	assente	3,47	kWh/m <sup>2</sup>

Tabella 9 – energia captata da una superficie inclinata

Dati di input:

Coordinate della località: latitudine: 36°49' - longitudine: 14°31'

<sup>52</sup> È la potenza istantanea che colpisce una superficie, espressa in kW/m<sup>2</sup>. L'irraggiamento solare al suolo, radiazione globale, è la somma di tre componenti, diretta, diffusa e di albedo.

<sup>53</sup> O inclinazione, è l'angolo che il pannello fotovoltaico forma col piano orizzontale.

<sup>54</sup> Mediando il fatto che il sole è più basso e d'estate è più alto rispetto all'orizzonte.

<sup>55</sup> Qualora si volesse ottimizzare l'energia captata nella sola stagione estiva si adottano dei valori d'inclinazione pari alla latitudine meno 20-30°; per quanto riguarda il periodo invernale le inclinazioni devono essere pari alla latitudine più 10-15°. Queste regole, che sembrano di natura empirica, sono invece legate al fatto che per massimizzare l'energia captata, il pannello deve offrire alla radiazione solare la massima superficie attiva in modo da produrre la massima energia elettrica. Per questo la superficie del pannello si deve trovare in condizione di ortogonalità con i raggi del sole. (ENEA)

Orientazione della superficie:	
azimut solare	0
inclinazione	30°00'00"
Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale	ENEA-SOLTERM
Coefficiente di riflessione del suolo	0.25

La Radiazione totale annua<sup>56</sup> sulla superficie inclinata è di:

1824 kWh/anno m<sup>2</sup>

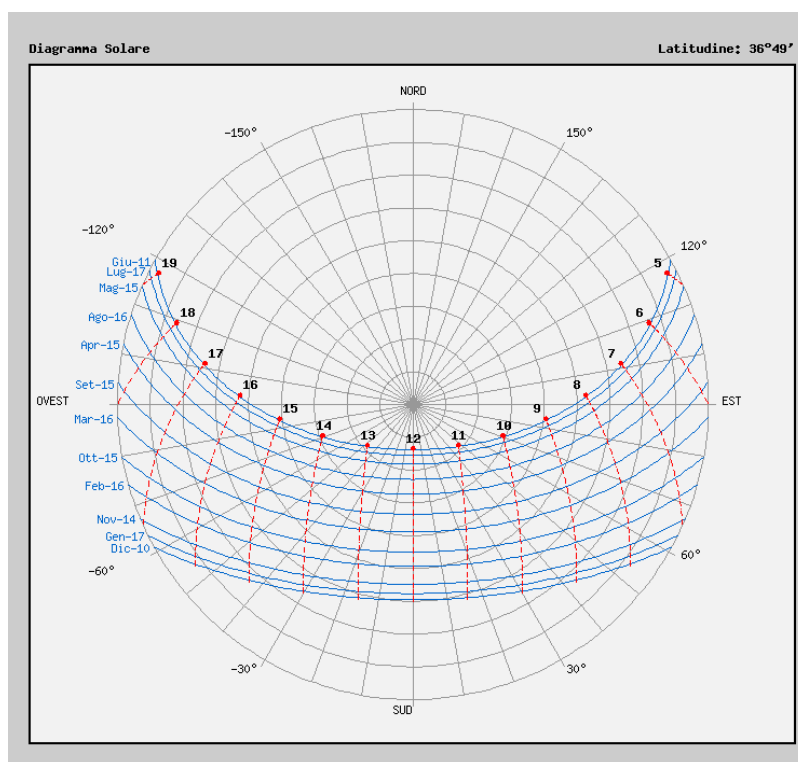


Fig. 30 - Diagramma solare<sup>57</sup> ortografico  
prodotto dal programma di calcolo fornito da ENEA  
[www.enea.it](http://www.enea.it)

<sup>56</sup> Anno convenzionale di 365 giorni.

<sup>57</sup> Uno strumento utile a descrivere la volta celeste, ai fini architettonico-progettuali, è il diagramma solare, il quale rappresenta la volta celeste proiettata su di un piano. Su di esso si possono tracciare poi i percorsi solari nelle diverse stagioni in modo tale che si possa individuare la posizione del sole nel cielo in un dato momento. E' possibile analizzare le condizioni della cosiddetta "finestra solare" compresa tra le traiettorie solari durante i solstizi e tra le ore 9 e le 15.

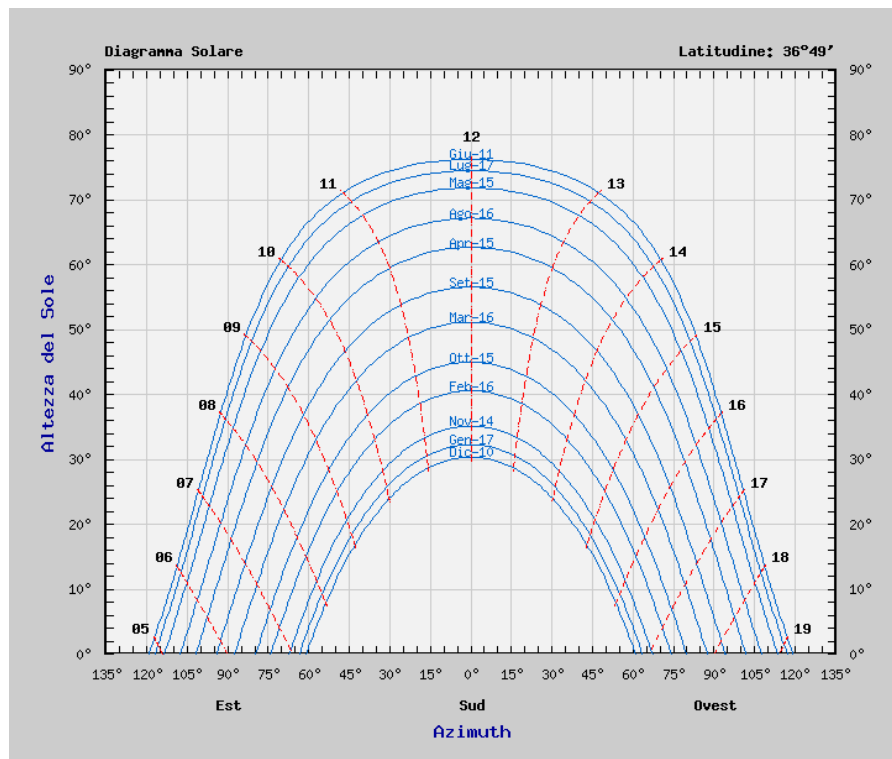


Fig. 31 - Diagramma solare cartesiano  
prodotto dal programma di calcolo fornito da ENEA  
[www.enea.it](http://www.enea.it)

Di seguito è elencata la componentistica del sistema fotovoltaico preso in considerazione (fig. 32):

- § Batterie
- § Centraline di regolazione
- § Utilizzatori in corrente continua (c.c.)
- § Inverter

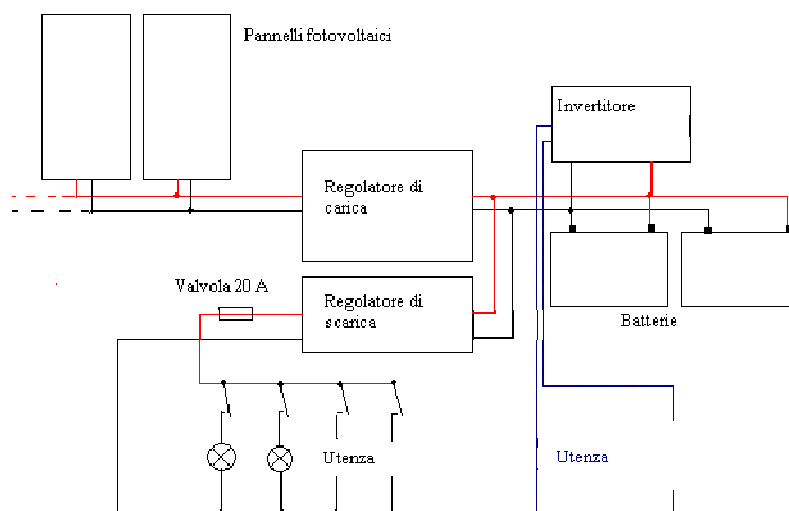


Fig. 32 - Schema elettrico principale per un impianto stand alone



Per il dimensionamento di massima si ipotizza un sistema di serre, di circa 10000 m<sup>2</sup> con una ipotetica richiesta energetica di 30.000 kWh/anno per 365 giorni<sup>58</sup>.

In queste condizioni l'energia annuale è di 1824 kWh/m<sup>2</sup>anno. Tale dato può essere rappresentato in modo apparentemente diverso, considerando che nelle condizioni di pieno sole l'energia luminosa è di circa 1000 W/m<sup>2</sup> e che pertanto l'energia di 1824 kWh/m<sup>2</sup>anno può essere interpretata come l'energia di pieno sole che incide per 1824 ore all'anno, ovvero 5 ore giornaliere (considerando le rimanenti ore senza sole).

Per poter calcolare l'energia giornaliera richiesta dall'utenza per ogni apparecchio utilizzatore occorre conoscere la potenza di carico e le ore di utilizzo giornaliero e fare somma di tutti i consumi per ottenere il fabbisogno totale giornaliero. Schematizzando abbiamo:

Potenza di carico x ore di utilizzo giornaliero = Energia richiesta
W h Wh/ giorno

30000/365=110 Wh/giorno
-------------------------

Considerando situazioni impreviste in cui la richiesta di energia da parte dell'utenza è variabile, tenendo presente che il sistema è isolato dalla rete, per quantificare l'effettiva energia che deve erogare il campo FV nel caso di massima richiesta, ci si riferisce alle condizioni di irraggiamento più sfavorevoli ovvero quelle del mese di dicembre. Una volta eseguiti gli opportuni calcoli (Allegato G) riguardo la necessaria potenza del generatore fotovoltaico Wp, si sono ottenuti i seguenti risultati:

POTENZA DA INSTALLARE
richiesta energetica di 40.000 kWh/anno per 365 giorni
angolo di tilt 30°
AZIMUT 0°
Energia annuale 1824 kWh/m <sup>2</sup> anno
Carico giornaliero 110 kWh
Irraggiamento medio giornaliero (dicembre) 3,47 kWh/m <sup>2</sup> giorno

<sup>58</sup> Nel dimensionamento si fa riferimento ad un angolo di tilt che abbia la massima energia raccolta in un anno, in tal caso un angolo di 30°.

Pertanto con una potenza del campo pari a 30 kWp e con moduli da 180 Wp si ha:

- § Numero totale dei moduli 169
- § Superficie dei moduli 218 m<sup>2</sup>
- § Superficie lorda del campo 500m<sup>2</sup>

#### IV.4 III Fase

##### Iter autorizzativo in Sicilia per le serre fotovoltaiche

Le serre fotovoltaiche sono uno dei segmenti più promettenti nel campo delle energie alternative in quanto consentono di combinare il tradizionale reddito agricolo con le entrate derivanti dagli incentivi del Conto Energia, sia se si tratta di installare i pannelli su una serra già esistente sia in una di nuova costruzione. Per il primo caso il processo autorizzativo è più rapido rispetto ad un impianto a terra, non essendo richiesta l'autorizzazione unica. Inoltre l'impianto è esente dal pagamento dell'Ici<sup>59</sup>, purché i redditi prodotti dagli impianti fotovoltaici su serra siano connessi all'attività agricola.

Le previsioni future secondo il Solar Energy Report redatto dal Politecnico di Milano, le serre fotovoltaiche hanno ampi spazi di crescita nel medio termine, con una stima al 2020 di 5,8 GW di potenza installata, contro i 459 MW censiti a fine 2008. Una quota che significa arrivare per quella data a coprire con pannelli fotovoltaici circa un quinto della superficie delle serre oggi esistenti.

Previsioni ottimistiche che devono tuttavia fare i conti con il nuovo Conto Energia 2011-2013. Il sistema incentivante in uso per quest'anno (tabella 10), 2011, le nuove installazioni, che fino all'anno scorso considera gli impianti sulle serre come "totalmente integrati", potranno contare su tariffe molto più basse, con valori calcolati secondo una formula complessa che porta il risultato vicino alla media aritmetica tra gli incentivi previsti per i pannelli su tetto e quelli destinati agli impianti a terra. Una decisione motivata dalla volontà di contrastare la speculazione, orientata a costruire sistemi fotovoltaici su delle serre che, in realtà, non avevano alcuna destinazione agricola.

---

<sup>59</sup> Imposta Comunale Immobili - la serra è accatastabile come edificio agricolo, ed in quanto tale è esente da qualsiasi imposta comunale sugli immobili, compresa l'ICI, è l'impianto fotovoltaico a terra, invece, sulla base dell'interpretazione corrente dell'Agenzia del Territorio, è assoggettabile all'ICI.

Intervallo di potenza	Entrata in esercizio	Entrata in esercizio	Entrata in esercizio
(in kW <sub>p</sub> )	1° gen. - 30 apr. 2011	1° mag. - 31 ago. 2011	1° set. - 31 dic. 2011
1<P<3	0,382	0,369	0,356
3<P<20	0,358	0,341	0,323
20<P<200	0,339	0,325	0,304
200<P<1000	0,334	0,319	0,29
1000<P<5000	0,332	0,308	0,283
P>5000	0,315	0,293	0,269

Tabella 10 – incentivi conto energia 2011 (euro/kWh) – le tariffe del conto energia per gli impianti FV su serre, pensiline, tettoie o pergolati che entrano in funzione nel 2011

I vantaggi generati dalla realizzazione e dall'utilizzo di serre fotovoltaiche sono quindi numerosi e sono soprattutto legati a diversi aspetti, come :

- § sviluppo di vasti impianti evitando la sottrazione di terreni per le attività agricole;
- § possibilità di accedere alla tariffa massima prevista dal Conto Energia (0,44 €/kWh);
- § svolgimento di un iter per l'autorizzazione più rapido rispetto a quello previsto per i normali impianti;
- § maggiore possibilità di creare occupazione;
- § capacità delle serre di sfruttare al massimo il poco spazio a disposizione e di rendere la struttura energeticamente indipendente, nonché di immettere il surplus di elettricità in rete.

Le possibili criticità

- § Tariffa incentivante: essendo la tariffa regolata dalla produzione agricola. in caso di cessazione dell'attività si può incorrere nella decadenza del diritto alla tariffa incentivante e, nel peggiore dei casi, nella restituzione di quella percepita.
- § Scelta della coltura: eventuali errori nell'individuazione della coltura da sviluppare e produrre in serra potrebbero compromettere il successo della stessa, portando al fallimento del progetto con evidenti conseguenze negative. In tal caso infatti si avrebbe una riduzione della tariffa incentivante e la perdita dell'autorizzazione ad operare la serra.
- § Molteplicità di attori: In un progetto di serra fotovoltaico, e nella relativa struttura contrattuale, sono generalmente presenti il proprietario del terreno, l'agricoltore ed il proprietario dell'impianto. Tale compresenza di più attori può rendere la struttura sicuramente difficile da gestire.

§ Bancabilità: per le diverse problematiche legate alla gestione e al successo delle serre, le banche tendenzialmente valutano più rischioso questo tipo di progetto, piuttosto che uno relativo alla realizzazione di un normale impianto fotovoltaico.

§ Scelte tecniche dell'impianto: Il partner tecnico deve essere in grado di valutare l'effettiva luminosità della serra garantendo all'agronomo efficienza e funzionalità dell'impianto anche in relazione alle colture da coltivare previste.

In riferimento all'iter previsto per l'autorizzazione, l'ente competente risulta essere quasi sempre il Comune, mentre la tipologia di autorizzazione necessaria è quella della DIA (Denuncia Inizio Attività) o il Permesso a Costruire.

Il parere dell'Ispettorato Agricoltura, del Genio Civile o di altri enti è richiesto solo in alcune regioni, nelle quali l'autorizzazione è rilasciata solo in seguito al rilascio di tale documento.

Per quanto riguarda l'eventualità di strutturare la serra con un impianto integrato, anche qui dipende dalla regione. In alcune infatti l'impianto è autorizzato insieme alla serra come elemento costruttivo della stessa (es. Calabria, Campania, Lazio), in altre segue un iter parallelo (es. Puglia, Sicilia).

La Verifica di assoggettabilità a V.I.A.<sup>60</sup> è esclusa per alcune Regioni, mentre in altre dipende dalla dimensione della serra/impianto (es, Basilicata: escluse serre con superficie < 20.000 mq; Sicilia: esclusi impianti con potenza < 1 MW).

Occorre fare i conto con il vincolo degli incentivi: per usufruire è necessario garantire la produzione in serra per 20 anni, può costituire un freno per l'imprenditore agricolo, un vincolo a coltivare anche qualora il business si dimostrasse poco produttivo

#### IV.5 Analisi costi-benefici

La consapevolezza del potenziale di riduzione degli impatti ambientali insito nella riduzione consumi energetici necessariamente porta a mutamenti nella pratica costruttiva dei sistemi serra.

Il contenimento dei costi è un obiettivo che ha validità generale, per fornire una corretta valutazione del costo di un sistema serra è necessario tenere presente tre componenti fondamentali:

- 1- a breve termine: costo del sistema;
- 2- a lungo termine: costi di gestione e di manutenzione;
- 3- a lungo termine: durata del sistema.

---

<sup>60</sup> Valutazione Impatto Ambientale, è uno strumento di supporto per l'autorità decisionale, finalizzato ad individuare, descrivere e valutare gli effetti di un determinato progetto sull'ambiente.

Con questo si vuol dimostrare che è necessaria una scelta oculata e non qualunquistica o di pura comodità o peggio ancora di moda, nel determinare quale tipo di materiale, di impianto e di tecnologia, sia pure opportuno, onde evitare inutili sprechi energetici e consumistici.

È importante valutare la vita utile del sistema, ciò ci permette di fare delle considerazioni anche sugli investimenti iniziali in materiali e tecnologie innovative che permettono di garantire un ritorno di investimento e prestazioni superiori durante la sua vita utile.

Dunque una corretta valutazione di costi e consumi è sempre una valutazione che prende in considerazione l'intero ciclo di vita di un manufatto: gli investimenti operati in fase di costruzione possono consentire di avere risparmi considerevoli durante la gestione, sia in termini idrici che energetici.

In definitiva questa tecnica di coltivazione si rivela assai redditizia e conforme alle normative atte alla tutela e al miglioramento dell'ambiente, oltre che idonea al risparmio idrico ed energetico.

La precisione della gestione e, in particolare, della programmazione, vista anche la successione rapida dei cicli, possono diventare fattori decisivi nella definizione dei bilanci aziendali e con opportune scelte imprenditoriali è possibile ammortizzare i costi d'impianto con risparmi notevoli di costi di esercizio.

In fase progettuale si è cercato di definire un sistema quanto più a "bassa tecnologia"; intendendo realizzato con un ridotto apporto di componenti caratterizzati da alto costo di acquisto e di manutenzione, e gestibili da un operatore in possesso di competenze tecniche medie. Strutture modificabili con facilità in sistemi a contenuto di tecnologia superiore. Sistemi rivolti in particolare all'utenza del settore produttivo, soprattutto alle aziende di dimensioni medio-piccole ma comunque utilizzabili anche da aziende di dimensioni maggiori. (atti workshop: I sistemi di coltivazione fuori suolo a ciclo chiuso" – Pisa 21 ottobre 2005- E. Farina)

#### IV.6 Sintesi del progetto proposto

Elenco dei punti chiave della proposta di progetto:

- la costruzione e la gestione di strutture di sistemi serra sostenibili caratterizzati dalla "modularità" degli elementi-base, a basso contenuto e consumo energetico in relazione alle diverse situazioni geografiche e alle richieste della produzione, nonché con una limitata incidenza sul costo finale del prodotto agricolo; Comprendono lo studio e la individuazione dei seguenti parametri: 1. interazioni tra il regime termico della serra, l'umidità relativa, la luminosità e le relazioni idriche delle piante in termini di traspirazione e assorbimento nutritivo, della durata degli interventi e della distribuzione di calore, degli scambi gassosi e dei tassi di ricambio dell'aria e della ventilazione, e nei confronti della

funzionalità generale della pianta; 2. effetto della irregolarità della distribuzione della radiazione solare nella serra sull'attività fotosintetica delle piante in funzione di una serie di fattori strutturali (orientamento, struttura architettonica della serra, materiali di copertura, sistema di climatizzazione, ecc.) e biologici (fenologia della pianta, densità e struttura spaziale della pianta della coltura; 3. qualità dei frutti

- le tecnologie e la componentistica solare per soddisfare la domanda di energia del sistema serra rispetto alla climatizzazione microclimatica sia in termini di riscaldamento durante i periodi freddi sia in termini di raffrescamento/ raffreddamento durante i periodi caldi. Nel caso in cui vi sia un esubero di energia prodotta dal sistema FV, questo potrebbe essere utilizzato o ai fini di ottimizzare ulteriormente gli stadi produttivi del sistema-serra, installando lampade a led per intensificare e migliorare il fotoperiodo delle colture, oppure l'imprenditore potrebbe decidere di immettere in rete il surplus prodotto secondo quanto previsto dalle normative vigenti. (Bibl. Campiotti C. A.)
- Impiego di sistemi Floating System in cui il prodotto ottenibile è qualitativamente e quantitativamente migliore (più cicli colturali che su terreno) risultano quindi ancora più efficienti se vengono considerate non per unità di superficie ma per kg di prodotto. Rivelandosi una tecnica assai redditizia e conforme alle normative atte alla tutela e al miglioramento dell'ambiente, oltre che idonea al risparmio idrico ed energetico.
- Smaltimento della soluzione esausta tramite sistema di fitodepurazione
- Produzione di prodotti di IV gamma
- Recupero degli scarti di lavorazione del prodotto di IV gamma
- Recupero delle acque di prima pioggia

#### IV.7 Risultati attesi

Da un eventuale sviluppo del programma proposto ci si attendono importanti informazioni dal punto di vista pratico-applicativo nonché indicazioni di supporto all'attività di ricerca. Altre aspettative quali quello dello sviluppo locale dell'autonomia gestionale e finanziaria derivante dalla sperimentazione agronomica proposta, dando impulso alle microeconomie con l'impiego della filiera corta ovvero dal produttore al consumatore. Inoltre i sistemi fuori suolo proposti, richiedono una preparazione tecnica più completa e, in particolare, un tipo di gestione imprenditoriale d'impronta forse più "industriale" che agricola nel senso stretto.

#### IV.8 Innovazione del progetto proposto

Si prevede uno sviluppo pre-competitivo di un tale prototipo di sistema serra sostenibile specifico per il comparto della serricoltura siciliana se consideriamo che i volumi produttivi, qualitativi ed economici sono enormemente penalizzati dalla impossibilità di realizzare cicli colturali annuali e predeterminabili, come invece richiesto dalla moderna agricoltura, a causa della mancanza di sistemi di climatizzazione ambientale in serra, in grado di garantire la realizzazione continua (annuale) di cicli colturali e il raggiungimento di livelli qualitativi del prodotto funzionali alla GDO.

Altre aspettative sono riferite alla caratterizzazione e validazione di sistemi colturali fuori suolo a ciclo chiuso per le specifiche caratteristiche climatiche della Sicilia, in grado di assicurare alle imprese agricole un alto livello di efficienza del processo produttivo in termini di riduzione dei consumi di acqua e di eliminazione degli inquinamenti delle falde da agrochimici, di eliminazione dei fenomeni di lisciviazione e/o salinizzazione dei terreni serricoli, di diversificazione programmazione di cicli agronomici annuali.

L'innovazione del progetto proposto va dalla maggiore produttività alla disponibilità di nuovi materiali, alla costruzione di strutture più razionali, alla introduzione di nuove varietà colturali, ad un miglioramento della ricerca, ad una partecipazione più attiva degli operatori.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

---



È naturale che quando si parla di insediamenti di sistemi serra si fa riferimento all'ambiente ed al paesaggio, tenendo presente che ci riferiamo allo spazio vitale in cui le necessità dell'ambiente, quelle sociali e quelle culturali cooperano alla creazione di uno sviluppo sostenibile. Progettare con il paesaggio, con particolare riferimento a quello agrario nel contesto ragusano, non costituisce certamente un fatto ascrivibile alla sola estetica, ma rappresenta un problema complesso che investe la sfera della cultura, della scienza e della tecnica.

Ogni azione deve essere mirata ad un rafforzamento del sistema imprenditoriale regionale che tenga conto non solo delle imprese già esistenti ma contribuisca anche ad incentivare la creazione di nuove.

Negli ultimi anni la crescente sensibilità verso le tematiche ambientali ha avuto l'importante merito di far emergere quel principio basilare di gestione territoriale che individua nel paesaggio una risorsa straordinaria, anche di sviluppo economico, se correttamente compresa e valorizzata.

L'introduzione di innovazioni tecnologiche, favorita tra l'altro dalle normative europee, sembra necessaria in un'ottica di sviluppo del settore agricolo per il quale è indispensabile mantenere elevata la competitività.

Le prospettive di sviluppo futuro per l'agricoltura rendono necessaria l'introduzione di innovazioni tecnologiche in grado di mantenere elevata la competitività del settore orticolo. Le normative europee tendono a favorire l'introduzione dell'innovazione tecnologica e di processo.

Sistemi serra migliori, caratterizzati da ottime condizioni di ventilazione e di riscaldamento che costituiscono le premesse; sistemi che incrementino le produzioni e permettano l'adozione di vari sistemi di coltivazioni.

Pertanto tale studio vuole rappresentare un momento di riflessione e uno strumento di supporto per le scelte progettuali, che possono avere anche un carattere più generale. Infatti i risultati che ne scaturiscono, dovrebbero essere letti come informazione tecnica ed ambientale orientativa atti ad individuare degli ordini di grandezza in grado di definire orientamenti progettuali validi e consapevoli.

L'applicazione e la diffusione di sistemi e accorgimenti tecnici per aumentare l'efficienza energetici e l'impiego di risorse rinnovabili nell'agricoltura protetta, se da un lato richiedono una vera e propria riconversione culturale dei principali attori della filiera (produttori, organizzazioni, imprese, consumatori), dall'altro offrono l'opportunità di innovare i sistemi tradizionali assicurando la piena compatibilità con le necessità di risparmio energetico e di protezione ambientale. Inoltre, non sono trascurabili le prospettive di sviluppo sia imprenditoriale che socio-occupazionale potenzialmente associate all'impiego di risorse rinnovabili se consideriamo che le specifiche condizioni climatiche e le peculiarità geografiche del nostro Paese offrono la possibilità

di sviluppare nuovi modelli produttivi, filiere energetiche e attività imprenditoriali basate sulla applicazione di risorse rinnovabili locali (solare, geotermico e biomassa). A questo proposito, il “Conto Energia”, i Certificati Verdi (CV) e i Titoli di Efficienza Energetica (TEE), rappresentano opzioni economicamente valide e remunerative per gli operatori delle serre. L’integrazione di innovazione, l’impiego di energie rinnovabili, l’accettazione di criteri di efficienza energetica rappresentano sia una strategia definitiva per contrastare la volatilità e il trend rialzista dei costi dell’energia tradizionale sia una scelta prioritaria per mantenere e migliorare la competitività e l’economia delle imprese dell’agricoltura protetta.

L’espansione futura dell’idroponica in Italia sarà sostenuta solo dalla politica ambientale dei governi locali e centrali e dal mercato, attraverso una crescente domanda di prodotti di qualità. Inoltre, occorre promuovere di più e meglio questa tecnologia colturale per far accettare al mercato i suoi prodotti, che qualcuno a torto considera di scarsa qualità ed addirittura tossici<sup>61</sup>.

---

<sup>61</sup> Occorre precisare che l’idroponica non è compatibile con la filosofia e con le regole dell’agricoltura biologica ed integrata. Ma sicuramente tali colture si prestano per un’agricoltura ecocompatibile avendo un ridotto impatto ambientale rispetto alle metodiche tradizionali.

## BIBLIOGRAFIA

---

## Analisi costi

Regione siciliana – nuovo prezzario unico per I lavori pubblici – Elenco prezzi 2009 – Decreto Presidenziale 16 aprile 2009 – supplemento ordinario alla GURS (p.1°) n. 18 del 24 aprile 2009 - Grafill – Palermo 2009

## Architettura

- AAVV, "Energy present and future options", Vol. II, Ed. David Merrick – John Willey, 1994;
- Harris N. C., Miller C., Thomas I., "Solar energy systems design", Ed. David Merrick – John Willey, 1985;
- Burberry Peter, "La progettazione del risparmio energetico", Ed. Franco Muzzio & C. Editore, 1980 Padova;
- Marston Fitch James, "La progettazione ambientale analisi interdisciplinare dei sistemi di controllo dell'ambiente", Ed. Franco Muzzio & C. Editore, 1980 Padova;
- Knowes Ralph I., "Energia e forma, un approccio ecologico allo sviluppo urbano", Ed. Franco Muzzio & C. Editore, 1980 Padova;
- Bruno, Manuale di architettura per la progettazione bioclimatica e bioedilizia", Ed. Franco Muzzio & C. Editore, 1980 Padova;
- Bruno Stefano, "Progettazione bioclimatica e bioedilizia, manuale di architettura per edifici ed impianti;

## Articoli

- Ambiente Risorse Salute, III, C. A. Campiotti, C. Bibbiani, F. Dondi, C. Viola, Efficienza energetica e fonti rinnovabili per l'agricoltura protetta, Estratto N. 126 luglio/settembre 2010 – Anno XXIX – Vol., pagg. 6 a 12;
- Focus - scoprire e capire il mondo, N. 184 – febbraio 2008, pagg. 104-108;
- Recycling demolizione e riciclaggio, "Tecnologie innovative per la gestione delle acque reflue", Anno 11- n. 4 Luglio 2007, ISSN 1593-2419, Edizione PEI, numero pagg. 4, da pag. 105 a pag.108, F. C. Campione, A. Campodonico, S. Davì;
- Science direct – renewable Energy 31 (2006) 1521-1539 – Ahmed M. Adbel-Ghany, Toyoki Kozai, "Dynamic modeling of the environmental in naturally ventilated, fog-cooled greenhouse", 27 january 2005;
- Science direct – renewable Energy 31 (2006) 1541-1560 – Gurpreet Singh, Parm Pal Singh et al, "Formulation and validation of mathematical model of the microclimate of greenhouse", 30 november 2004;

## Energia Solare

- Alterio S., Barbaro S., Coppolino S., "Climatological background for the utilization of energy from the sun", *Il Nuovo Cimento*, Vol. 6C, N.2, Marzo-Aprile 1983;
- Anderson Bruce, "Energia solare manuale di progettazione", Franco Muzzio & C. Editore, 1980 Padova;
- Barbaro S., Coppolino S., Leone C., Sinagra E., "Global solar radiation in Italy", *Solar Energy*, Vol. 20. pp. 431-435, 1978;
- Caruso P., Galante G., Sciortino A., Scrofani O., "studio di fattibilità e valutazione relativa all'utilizzo di varie fonti energetiche per i servizi delle serre agricole della Sicilia", Università degli studi di Palermo, 1992 Palermo;
- A cura di Ceccherini Nelli Lucia, "Impianto fotovoltaici integrato nell'edificio aule e biblioteca al Polo Scientifico Universitario di Sesto Fiorentino", Alinea Editore, Perugia ottobre 2004;
- A cura di Cornoldi A., Los S., "Energia e habitat", Franco Muzzio & C. Editore, 1980 Padova;
- De Pascalis Salvatore, "Progettazione bioclimatica", Dario Flaccovio Editore, 2005 Palermo;
- Todd Nancy Jack, Todd John, "Progettare secondo natura", Editrice Elèuthera, 1989 San Francisco;
- Marzia Edward, "Sistemi solari passivi", Franco Muzzio & C. Editore, 1980 Padova;
- Olgyay Victor, "Progettare con il clima. Un approccio bioclimatica al regionalismo architettonico", Franco Muzzio & C. Editore, 1981 Padova;
- A cura di Los Sergio, "La progettazione dell'architettura bioclimatica" atti del seminario sui sistemi passivi, Bari 1979, Franco Muzzio & C. Editore, 1980 Padova;
- Sciortino A., "Le scelte in serra: estratto di atti del convegno";
- Wright David, "Abitare con il sole" abc della climatizzazione naturale, Franco Muzzio & C. Editore, 1981 Padova;
- Zappone Claudio, *La serra solare*, Sistemi editoriali Esselibri Simone, 2009 Napoli;

#### Materiali

- A.A.V.V., "Grande Altante di Architettura"-"Altante del vetro", Utet, 1999 Torino;
- A.A.V.V., "Dizionario dei materiali e dei prodotti" a cura di Giorgio Boaga, Utet, 1998 Torino;
- Wilquin Hugues, "Grande Altante di Architettura"-"Altante dell'alluminio", Utet, 2003 Torino;

#### Sistemi di colture

- A.A.V.V. "Ragusa in cifre" edizione 2006, Ed. SISTAN, 2006;
- Alpi A., Tognoni F., "Coltivazione in serra. Attuali orientamenti scientifici e tecnici", Edagricole, 1978 Bologna;

- Azzi G., "ecologia agraria", ed. patron, 1967 Bologna;
- Baldoni G., " Ecologia ed agricoltura", Edagricole, 1998 Bologna;
- Benincasa F., Tagliaferri G., Vendramin G.G., "Radiazione naturale e artificiale per lo sviluppo e la crescita delle piante", IPRA-CNR, 1985 Roma;
- Boaga G., Report:"Analisi finalizzata, classificazione e definizione generale di componenti tecnologici appropriati alla generale di componenti tecnologici appropriati alla produzione in serie di serre bioclimatiche derivate dal prototipo in corso di verifica sperimentale nell'area ENEA/Casaccia", ottobre 1986;
- Atti di Convegno, Campiotti C. A., Balducchi R., Alonzo G., Aiello P., "Le rinnovabili per le colture protette", 24 Luglio 2007 Palermo;
- Campiotti C. A., Balducchi R., Alonzo G., Dondi F., "Le tecnologie colturali senza suolo per le produzioni vegetali in serra", manuale operativo per le colture vegetali idroponiche
- Campiotti C. A. et al., "Tecnologie per produrre vegetali ad uso alimentare in Antartide" L'Informatore Agrario - N.11, (1999);
- Campiotti C. A. et al., "The hydroponics technology for plant fresh food support in Antarctica" Acta Horticulturae (ISHS) 554:279-284, (2001);
- Campiotti C., Balducchi R., Dondi F., Genovese A., Alonzo G., Catanese V., Belmonte A., Giunchi L., Raffa G., "Energie rinnovabili per i sistemi", rapporto - Dip. BAS – ENEA;
- Caporali F., "Ecologia per l'agricoltura, teoria e pratica", Utet, 1991 Torino;
- Ferrari M., Marcon E., Marconi M., Menta A., a cura di Ferrari Mario, "Ecologia del paesaggio", Edagricole, 2003 Milano;
- Leoni S., "Colture senza suolo, in ambiente mediterraneo – Le nuove tecniche per l'orticoltura e la floricoltura in serra", Edagricole, 2003 Bologna;
- Odum E. P., basi di ecologia, trad. di Nobile L., Ed. Piccin, 1988;
- Convegno nazionale, Scoglitti (RG) 25-27 novembre 2005: Strategie per il miglioramento dell'orticoltura protetta in Sicilia - Tognoni F., Malorgio F., Incrocci L., Carmassi G., Massa D., Pardossi A., Tecniche idroponiche per colture in serra;
- Workshop progetto MIUR-PRIN 2003" La gestione fuori suolo a ciclo fuori suolo a ciclo chiuso:adattamento, ottimizzazione e controllo in ambienti mediterranei su colture ortofloricole": I sistemi di coltivazione fuori suolo a ciclo chiuso per le colture a ciclo chiuso" – Pisa 21 ottobre 2005-

#### Sostenibilità ambientale

- Annuario regionale dati ambientali 2008 – ARPA Sicilia

#### Tesi

- Tesi di dottorato in Tecnologie per la sostenibilità ed il risanamento ambientale di: Dott.<sup>ssa</sup> Nunzia Pecoraro - tutor Prof. D. Ottonelli, co-tutor C. A. Campiotti, "Tecniche di controllo dei nitrati durante la crescita di lactuca sativa, per il mercato di IV gamma, in coltura floating system, in sistema serra chiusa, che utilizza fonti rinnovabili di energia", Unipa - Facoltà di Agraria, anno 2009;
- Frangipane B., relatore Prof. Sciortino A., , "Ricerche sui materiali innovativi di copertura delle serre e film pacciamanti", Università degli studi di Palermo – facoltà di Agraria 2005-2006;
- Callaci P., relatore Prof. Sciortino A., , "Tecnologie della serra "Tipo Sicilia", Università degli studi di Palermo – Facoltà di Agraria 2005-2006;
- Garofano L., relatore Prof. Sciortino A., , "Ricerca su materiali plastici innovativi in serricoltura", Università degli studi di Palermo – Facoltà di Agraria 2003-2004;
- Virga G., relatore Prof. Sciortino A., , "Valutazione dei materiali plastici biodegradabili utilizzati per la pacciamatura della lattuga", Università degli studi di Palermo – Facoltà di Agraria 2003-2004;
- Caruso G., relatore Prof. Sciortino A., , "Materiali plastici flessibili per la copertura delle serre", Università degli studi di Palermo – Facoltà di Agraria 2002-2003;
- Relatore Prof. A. Sciortino, V. Palombo, "Evoluzione delle colture fuori suolo", Università degli studi di Palermo – Facoltà di Agraria 2004-2005;
- Gaglio S., relatore Prof. A. Sciortino, "Ricerca su tipologie terricole e sistemi di allevamento", Università degli studi di Palermo – Facoltà di Agraria 2001-2002;

#### Siti Internet

- [www.agriplast.it](http://www.agriplast.it)
- [www.alberoscaro.it](http://www.alberoscaro.it)
- [www.arpasicilia.com](http://www.arpasicilia.com)
- [www.brace.sinanet.apat.it](http://www.brace.sinanet.apat.it)
- [www.coldiretti.it](http://www.coldiretti.it)
- [www.comune.ragusa.it](http://www.comune.ragusa.it)
- [www.enea.it](http://www.enea.it)
- [www.engisolar.it](http://www.engisolar.it)
- [www.enel.it](http://www.enel.it)
- [www.energetichs.it](http://www.energetichs.it)
- [www.ermesagricoltura.it](http://www.ermesagricoltura.it)
- [www.fertirrigazione.it](http://www.fertirrigazione.it)

- [www.fitodepurazione.it](http://www.fitodepurazione.it)
- [www.fritegotto.it](http://www.fritegotto.it)
- [www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- [www.pati.it](http://www.pati.it)
- [www.ragusa.net/geografia.htm](http://www.ragusa.net/geografia.htm)
- [www.rinnovabili.it](http://www.rinnovabili.it)
- [www.sacsrl.it](http://www.sacsrl.it)
- [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [www.solargreenhaouse.it](http://www.solargreenhaouse.it)
- [www.solaritaly.enea.it](http://www.solaritaly.enea.it)



## ALLEGATI

---

## ALLEGATO A - Strumentazione

Solarimetro - La componente solare è in genere misurata per mezzo di pireliometri o solarimetri, che fanno uso di una termopila, costituita da due diversi metalli uniti in modo da generare una corrente proporzionale all'energia luminosa; mentre gli strumenti che misurano il flusso di energia a tutte le lunghezze d'onda si chiamano radiometri. Il radiometro netto ha due superfici una superiore ed una inferiore e misura la differenza tra il flusso in ingresso e quello in uscita. In dotazione il piranometro (fig. 33) PYR SP 110 che misura l'irradiazione su una superficie piana ( $W/m^2$ ). L'irradiazione misurata è la somma dell'irradiazione prodotto dal sole e dell'irradiazione diffuso (irradiazione globale). Il campo spettrale del piranometro è determinato dalla trasmissione delle due cupole in vetro tipo K5. L'energia radiante è assorbita dalla superficie annerita (la superficie della termopila è coperta con vernice nera opaca che permette al piranometro di non essere selettivo alle varie lunghezze d'onda) della termopila, creando così una differenza di temperatura tra il centro della termopila (giunto caldo) ed il copre del piranometro (giunto freddo). La differenza di temperatura tra giunto caldo e freddo è convertita in una differenza di potenziale grazie all'effetto Seebeck. L'effetto Seebeck è un effetto termoelettrico per cui, in un circuito costituito da conduttori metallici o semiconduttori, una differenza di temperatura genera elettricità. Le sue caratteristiche tecniche sono le seguenti:

- § Sensibilità tipica  $10 \mu V/(Wm^2)$
- § Impedenza  $33 \cdot \div 45 \cdot$
- § Campo di misura  $0 - 2000 W/m^2$
- § Campo di vista  $2 \cdot sr$
- § Campo spettrale  $305 nm \div 2800 nm$  50%
- § Trasmissione delle cupole  $335 nm \div 2200 nm$  95%

Il pirometro a termopila in dotazione è il PAR SQ 110. È costituito da un certo numero di termocoppie in serie che producono una tensione in uscita proporzionale all'intensità della radiazione solare incidente. L'energia radiante è assorbita dalla superficie annerita della termopila (giunto caldo, la quale è in contatto termico con il quale ricevitore superiore e respinta dalla superficie bianca (giunto freddo), che a sua volta è in contatto termico con il ricevitore inferiore. La differenza di temperatura tra i due ricevitori è proporzionale all'irradiazione netto e viene convertita in una differenza di potenziale grazie all'effetto Seebeck. I due ricevitori sono costituiti da una porzione di calotta sferica rivestita generalmente in teflon; la loro particolare forma garantisce una risposta secondo la legge del coseno ottimale ed il rivestimento in teflon, oltre a permettere l'installazione all'aperto per i lunghi periodi senza pericoli di danneggiamento, consente di avere una risposta spettrale costante dall'ultravioletto sino al lontano infrarosso.

Le caratteristiche tecniche del piranometro a termopila sono:

- § Intervallo di irraggiamento 0-1400 W/m<sup>2</sup> (max 4000 W/m<sup>2</sup>)
- § Risposta 305-2800 nm (50%) 335-2200 nm (95%)
- § Tempo di risposta <15 s
- § Sensitività tipica 4-6  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- § Impedenza tipica 700-1500  $\Omega$
- § Zero offset
- § Radiazione termica (200 W/m<sup>2</sup>), 7 W/m<sup>2</sup>
- § Variazione temperatura (5 K/h):  $\pm 2 \text{ W}/\text{m}^2$
- § Non stabilità  $\pm 0.5$
- § Non linearità  $\pm 0.6$
- § Errore di direzione  $\pm 10 \text{ W}/\text{m}^2$
- § Selettività spettrale  $\pm 2\%$
- § Risposta termica  $\pm 1$
- § Angolo di visuale  $2 \cdot \pi \text{ sr}$

Igrometro - L'igrometro in dotazione è l'RHT RH (fig. 34).

I dati vengono registrati ad intervalli di tempo di 20 minuti in continuo da raccogliere di dati l'Em50 ECH2O Logger (fig. 35).

Sulla copertura del container è stata installata una centralina di rilevamento dati per rispondere all'esigenza di una adeguata misura e modellizzazione della fonte energetica primaria (energia eolica e solare). I dati eterogenei vengono trasmessi in modalità wireless tramite interfaccia ZigBee (è il nome di una superficie per un insieme di protocolli di comunicazione ad alto livello che utilizzano piccole antenne digitali a bassa potenza; questa tecnologia ha lo scopo di essere più semplice ed economica di altre wireless come bluetooth) associata ad una piattaforma software basata su motori database relazionali.

Il sistema di alimentazione del modulo sensori prevede:

- § Un alimentatore da 5 V dc per quanto concerne il gruppo sensori: anemometro, temperatura e umidità relativa, piranometro a fotodiodo;
- § Un circuito ausiliario con relativo circuito di condizionamento ed alimentazione a  $\pm 12 \text{ V}$  dc per quanto riguarda il piranometro a termopila.

La centralina include i seguenti sensori:

Umidità relativa

- § Tipo: polimero capacitivo con uscita digitale

- § Range: da 0% a 100%
- § Risoluzione: 0.03%
- § Accuratezza  $\pm 2\%$  da 10% a 90%
- § Acquisizione campionamento ogni 1 min

#### Radiazione solare

- § Tipo: fotodiodo in silicio con uscita in tensione amplificata
- § Risposta spettrale (10% di punti): da 400 a 1100 nano
- § Risposta coseno (% su lettura):  $\pm 3\%$  (da  $0^\circ$  a  $\pm 70^\circ$  angolo incidente);  
 $\pm 10\%$  (da  $70^\circ$  a  $\pm 85^\circ$  angolo incidente);
- § Risposta coseno (% range totale):  $\pm 2\%$  (da  $0^\circ$  a  $\pm 90^\circ$ );
- § Coefficiente di temperatura:  $+0.12\%$  per  $^\circ\text{C}$ ;
- § Temperatura di riferimento:  $25^\circ\text{C}$
- § Correzione per grado sopra la tempera. di rif.:  $-0.12\%$  per  $^\circ\text{C}$ ;
- § Correzione per grado sotto la temp. di rif.:  $+0.12\%$  per  $^\circ\text{C}$ ;
- § Accuratezza:  $\pm 5\%$  del fondo scala (riferimento: Eppley PSP a  $1000 \text{ W/m}^2$ )
- § Acquisizione: campionamento ogni 1 min

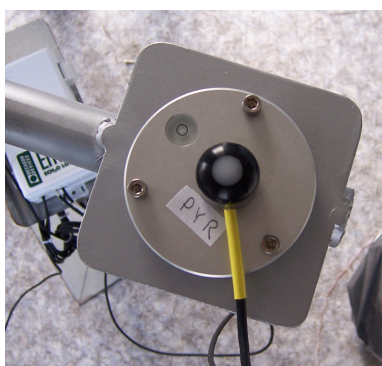


fig. 33 – piranometro



fig. 34 – igrometro



fig. 35 – registratore dati

#### Cromatografo ionico

La cromatografia a scambio ionico, o semplicemente cromatografia ionica (IC), è il tipo di cromatografia che si basa sul principio di attrazione tra gli ioni di carica opposta. Molti composti organici, possono avere parti della molecola polari favorendo quindi la loro separazione tramite questo metodo. La carica netta che questi composti presentano dipende dal loro pKa e dal pH della soluzione. Molto importante è anche il ruolo della determinazione della concentrazione dei cationi e anioni nell'ambito dell'analisi delle acque.

La cromatografia a scambio ionico permette di separare molto semplicemente gli ioni. È molto utile per la purificazione di campioni analitici poiché, ad esempio, si potrebbe aver bisogno di analizzare un anione in una matrice di cationi. Come le altre metodiche cromatografiche è poi inoltre in grado di effettuare determinazioni quali-quantitative.

#### ALLEGATO B – Procedura di preparazione dei campioni

Conclusi i cicli colturali di pomodori, lattughe e spinaci, sono stati raccolti e trasportati presso il laboratorio di chimica<sup>62</sup>, ed è stato eseguito il protocollo secondo la procedura descritta dal Regolamento CE<sup>63</sup> (figg. da 36 a )

In primo luogo è stata effettuata la separazione dei campioni (fig. 36, 37). I steli sono stati separati dalla radice, dalle foglie e dai frutti (non tutti i campioni ne hanno sviluppato); pertanto ogni campione è stato diviso in quattro parti.

In seguito alla separazione i campioni sono stati collocati in stufa a 105°C (fig. 38) per 24 h., i campioni prima di essere essiccati sono stati opportunamente pesati con bilancia di precisione<sup>64</sup>.



fig. 36 – campioni di pomodoro



fig. 37 – separazione dei campioni



fig. 38 – stufa di essiccazione



fig. 39 – campione di pomodoro



fig. 40 – peso dei campioni secchi



fig. 41 – centrifuga per 24h del campione diluito

<sup>62</sup> Vedi nota 17

<sup>63</sup> Vedi nota 25

<sup>64</sup> Bilancia ad alta precisione a 4 cifre decimali una bilancia tecnica



fig. 42 – filtrazione dei campioni in seguito il liquido verrà inserito nella colonna del cromatografo

## ALLEGATO C – Energia fotovoltaica

L'effetto fotovoltaico consiste nella capacità che hanno alcuni materiali semiconduttori opportunamente trattati, "drogati", di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica (corrente continua) senza che siano necessarie parti meccaniche in movimento.

La tecnologia Fotovoltaica consente di trasformare in maniera diretta l'energia associata alla radiazione solare in energia elettrica sfruttando il fenomeno fotoelettrico. La conversione energetica avviene in un dispositivo (cella fotovoltaica) costituito da un materiale semiconduttore, opportunamente trattato, all'interno del quale si crea un campo elettrico, che orienta le cariche elettriche generate dalla interazione della radiazione solare (fotoni) con la struttura elettronica del materiale semiconduttore, dando origine ad un flusso di corrente elettrica.

La conversione energetica avviene in un dispositivo (cella fotovoltaica) costituito da un materiale semiconduttore, opportunamente trattato, all'interno del quale si crea un campo elettrico, che orienta le cariche elettriche generate dalla interazione della radiazione solare (fotoni) con la struttura elettronica del materiale semiconduttore, dando origine ad un flusso di corrente elettrica.

Il silicio è il materiale più comunemente utilizzato ( mono/poli o amorfo), impiegato in un spessore compreso tra 0,25 e 0,35 mm. Il monocristallino ha rendimenti di conversione pari al 15-17%, mentre il policristallino, caratterizzato da un minore costo di produzione, presenta rendimenti del 12-14%, più bassi per la presenza di un maggior grado di impurità. Il silicio amorfo, utilizzato nella tecnologia a "film sottile" , viene invece spruzzato sotto forma di gas su una superficie di supporto. Tale tecnologia presenta una convenienza maggiore rispetto alle precedenti, in quanto, per la produzione delle celle viene usata una quantità inferiore di materiale, abbassando quindi il costo di produzione. Inoltre possiede un'ampia versatilità e flessibilità di impiego. L'unico svantaggio, non ancora risolto, è la bassa efficienza dovuta alla struttura cristallina instabile del silicio amorfo. Sono sistemi a film sottile anche quelli con semiconduttori CIS, CIGS, tellururo di cadmio (CdTe). CIS e CIGS hanno efficienze fino al 13% e costi attuali

leggermente inferiori ai sistemi in silicio. Tuttavia la scarsa disponibilità di indio e selenio costituiscono un ostacolo per uno sviluppo su larga scala.

Per un maggiore rendimento si stanno studiando celle fotovoltaiche multigiunzione (Split spectrum cell o Vertical Multijunction Cell). Ancora in fase di sviluppo sono le celle organiche, note come DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) , ottenute con la nanotecnologia.

Solo una parte dell'energia radiogena che colpisce la cella è convertita in energia elettrica; l'efficienza di conversione dipende in alta percentuale dalle caratteristiche del materiale costitutivo e non supera generalmente il 20%. Naturalmente la resa energetica da parte del dispositivo è anche in funzione di fattori quali : fattori geografici e metereologici, orientamento ed inclinazione della superficie dei moduli. Per le latitudini italiane il rendimento massimo si ottiene orientando i moduli verso sud con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzonte di 32-45 °. In condizioni standard (a 25°C con 1kW/ m<sup>2</sup> di irraggiamento) una cella eroga circa 1.5 Watt di potenza ( Wp – potenza di picco).

Le celle vengono assemblate insieme fra uno strato superiore di vetro ed uno strato inferiore di materiale plastico (Tedlar) e racchiuse da una cornice di alluminio, in modo da costruire un'unica struttura: il modulo fotovoltaico, tradizionalmente costituito da 36 – 72 unità collegate in serie e in parallelo, per una potenza di uscita che va dai 50 agli 150Wp.

A seconda della tensione richiesta dalle utenze elettriche più moduli possono esser connessi, in serie o in parallelo, a costituire una stringa. A loro volta più stringhe collegate in parallelo vanno a costituire il generatore fotovoltaico.

Un complesso di ulteriori dispositivi (BOS) collega il generatore alle utenze, convertendo ed adattando la corrente continua in uscita alle esigenze finali; ne fanno parte: – sistema di controllo – convertitore CC/CA o inverter – protezione di interfaccia – sistema d'accumulo

In base alla loro configurazione elettrica gli impianti fotovoltaici sono suddivisi in:

1 STAND ALONE sistemi autonomi

2 GRID CONNECTED sistemi allacciati alla rete elettrica nazionale

Gli impianti stand alone sono impiegati in caso di utenze a bassissimi consumi energetici e per edifici ubicati in zone poco accessibili dalla rete elettrica e quindi difficilmente collegabili. In questa tipologia di sistemi è necessario ricorrere all'utilizzo di batterie per accumulare l'energia elettrica e garantire pertanto la continuità dell'erogazione anche nei periodi in cui il generatore non produce corrente. Un altro componente essenziale in caso di sistemi autonomi è il regolatore di carica, la cui installazione preserva le batterie da eccessi di carica ed impedisce la scarica eccessiva.

Nei sistemi grid connect la rete fornisce l'energia sufficiente a coprire la richiesta quando non viene prodotta dal generatore fotovoltaico (periodi di scarsa o nulla insolazione) e riceve il surplus di elettricità che il sistema genera nelle ore di massima incidenza solare. I grid connect sono impiegati nelle centrali fotovoltaiche e negli impianti inseriti negli edifici.

L'integrazione dei moduli fotovoltaici negli edifici offre una serie di vantaggi:

1. riduzione delle perdite dovute alla distribuzione.
2. riduzione della domanda di picco nei mesi estivi, conseguente ad sempre un maggior impiego di condizionatori.
3. risparmio nei materiali di investimento degli edifici.
4. recupero dell'energia termica.
5. utilizzazione come frangisole per le superfici vetrate esposte a sud.

La quantità di energia prodotta da un sistema fotovoltaico è legata ad una serie di fattori che variano da impianto ad impianto, ed i più importanti sono:

- § Latitudine del sito
- § Area dell'impianto
- § Angolo di inclinazione della superficie considerata ed angolo d'orientamento rispetto al sud
- § Efficienza e grado di pulizia dei moduli
- § Temperatura delle celle
- § Rendimento dell'inverter e degli altri componenti elettrici convenzionali (cavi, interruttori, etc.)

(Bibl. Alonzo G. - [www.rinnovabili.it](http://www.rinnovabili.it))

#### ALLEGATO D – Indici di produttività

Tra gli indici di produttività correlati alla crescita sono stati presi in considerazione quelli che rispondevano meglio alle esigenze del caso.

Pertanto sono stati scelti ed applicati i seguenti indicatori di crescita:

- § Harvest index
  - § Resa media produttiva
  - § Velocità di accrescimento
  - § Efficienza di traspirazione
- Come parametri allometrici
- § Sviluppo fogliare
  - § Sviluppo in altezza



§ Efficienza agronomica

§ Efficienza fisiologica

(Bibl. Tesi Pecoraro N.)

#### ALLEGATO E – Flussi termici e dimensionamento generatore

La temperatura all'interno della serra dipende principalmente dall'“effetto serra” dato da un lato all'irraggiamento solare e dall'altro all'impermeabilità del materiale di copertura a certe radiazioni calorifiche dall'altra. Oltre a questo fenomeno si devono considerare altri fenomeni altrettanto importanti che condizionano il clima interno della serra sono le altre due modalità di trasmissione del calore: 1. Convezione 2. Conduzione. La convezione dipende dalla capacità calorifica dell'aria, cioè dalla quantità di calore che è contenuta per unità di massa e dalla velocità di sostituzione della massa d'aria considerata. Per conduzione intendendo il trasporto di calore da un corpo ad un altro sotto l'influenza della temperatura, senza che vi sia contemporaneamente trasporto di materia. Pertanto la quantità di calore che passa per conduzione attraverso le pareti della serra può essere calcolata con la seguente formula:

$$Q = K \times S \times \Delta t$$

K = coefficiente che tiene conto dello spessore delle pareti

S = superficie delle pareti

•  $\Delta t$  = differenza di temperatura tra l'aria interna e quella esterna

Tuttavia è difficile quantificare i reali fenomeni fisici che si verificano all'interno di un sistema serra. Le dispersioni calorifiche di rilievo che devono essere analizzate per il calcolo del bilancio termico da considerare sono: conduzione-convezione, per ricambio d'aria, e per irraggiamento attraverso il suolo. Infatti la serra non essendo a tenuta ermetica si devono considerare le perdite dovute a rinnovo d'aria. In questa condizione lo scambio termico influenza il calore sensibile e il calore latente, la quantità di calore associata al rinnovo d'aria dipende dal volume d'aria scambiata e dalla variazione totale d'entalpia. Tale quantità varia seconda le condizioni meteoriche. Gli scambi termici conseguenti ai rinnovi d'aria possono raggiungere valori superiori alle perdite dovute a conduzione, convezione nella serra a perfetta tenuta. Perciò si è calcolato che il coefficiente di trasmissione globale e reale sarà uguale a:

$$K_r = K + R(V/S)(\Delta t_i / \Delta t_e)$$

R = il tasso dei rinnovi d'aria della serra

V = volume della serra

S = superfici delle pareti laterali e del tetto

•• = scarto di temperatura tra interno ed esterno (°C)

• i = la variazione d'entalpia tra aria interna ed esterna (Kcal/m<sup>3</sup> d'aria)

(Bibl. Tognoni F.)

## ALLEGATO F – Bacino raccolta acqua piovana

L'apporto di acqua piovana annua si stima:

$$S m^2 \times Y \% \times P mm \times H_{fil} \% = \text{litri/anno}^{65}$$

S = superficie captabile	106 m <sup>2</sup>
Y = coefficiente di deflusso <sup>66</sup>	80%
P = altezza delle precipitazioni (afflusso) <sup>67</sup>	600 mm
H <sub>fil</sub> efficacia del filtro = periodo secco di 21 giorni	95%

Calcolo del volume del serbatoio

Verificato che l'afflusso annuo di acqua piovana raccolta sia superiore al fabbisogno, per il calcolo della capacità della vasca di accumulo si ritiene utile considerare il valore medio tra i due:

$$105.336 [\text{litri/anno}] + 92.000 [\text{litri/anno}] / 2 = 98.668 [\text{litri/anno}]$$

Per assicurare un'adeguata riserva di sicurezza, si tiene conto di un periodo secco medio, ovvero del numero di giorni durante i quali si può verificare assenza di precipitazioni; il valore di letteratura solitamente considerato è di 21 giorni.

Il volume richiesto risultante dai calcoli è dunque ottenibile con la seguente formula:

$$(\text{volume utile medio}) \times (\text{periodo secco medio}) / (\text{giorni dell'anno})$$

<sup>65</sup> Modello fornito dalla norma E DIN 1989-1:2000-12

<sup>66</sup> Il coefficiente di deflusso nell'ambito del bacino idrografico di un corso d'acqua, esprime il rapporto fra deflussi (volume d'acqua defluito alla sezione di chiusura del bacino) e afflussi (precipitazioni). Salvo diverse indicazioni, il coefficiente di deflusso è calcolato su un periodo di un anno: in questo modo non risente della stagionalità. In altri casi può essere utile calcolarlo per periodi inferiori di tempo. Il suo valore è compreso tra 0 e 1 se è calcolato su un anno, mentre se è calcolato su un mese sarà superiore a 1 nei periodi di scioglimento dei ghiacciai e dei nevai o in quelli di elevata piovosità.

<sup>67</sup> Dati da Servizio Idrografico del Ministero dell'Ambiente

$$98.668 \text{ [litri/anno]} \times 21 \text{ [giorni]} / 365 \text{ [giorni/anno]} = 5.700 \text{ [litri]}$$

Un serbatoio di accumulo da circa 6.000 litri sarebbe il più idoneo nel caso ipotizzato.

#### Stima del risparmio economico

Il costo dell'acqua potabile al metro cubo in Italia varia da zona a zona in modo sensibile, senza considerare che tale costo è soggetto a repentini cambiamenti a causa della privatizzazione.

Moltiplicando tale valore per il volume di acqua piovana recuperata, si calcola facilmente il risparmio economico ottenuto dal fatto di non aver consumato acqua potabile (e non) proveniente dall'acquedotto.

Ipotizzando un costo dell'acqua di 2 euro/m<sup>3</sup>, per il caso in esame si ha:

$$98.668 \text{ [litri/anno]} / 1.000 \text{ [litri/m}^3\text{]} \times 2 \text{ [euro/m}^3\text{]} = 197,336 \text{ [euro/anno]}$$

Normativa: l'art. 113 del Decreto Legislativo 03 aprile 2006 n. 152 parte III (disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento) afferma che le acque vanno disciplinate. Le direttive comunitarie n. 91/271/CEE (trattamento delle acque reflue urbane), e n. 91/676/CEE (acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia).

#### ALLEGATO G – Studio di prefattibilità

Giorno	Alba(CET)	Tramonto(CET)	Durata del giorno	Equazione del tempo	Fattore di eccentricità
17-gen	7h 18'	17h 05'	9h 47'	-9'20"	1,034
16-feb	6h 55'	17h 38'	10h 43'	-14'14"	1,0251
16-mar	6h 17'	18h 05'	11h 48'	-9'21"	1,0108
15-apr	5h 33'	18h 31'	12h 57'	-0'14"	0,9932
15-mag	4h 59'	18h 57'	13h 57'	3'56"	0,9779
11-giu	4h 47'	19h 15'	14h 28'	0'48"	0,9691
17-lug	5h 00'	19h 16'	14h 16'	-6'01"	0,9673
16-ago	5h 24'	18h 50'	13h 26'	-4'41"	0,9747
15-set	5h 47'	18h 07'	12h 20'	4'39"	0,9886
15-ott	6h 12'	17h 23'	11h 10'	14'25"	1,0059
14-nov	6h 43'	16h 50'	10h 07'	15'20"	1,0222
10-dic	7h 08'	16h 41'	9h 33'	7'08"	1,0319

Tabelle solari relative alla località di Santa Croce Camerina con coordinate geografiche:

§ Lat.: 36°49' (36,817) - Long.:14°31' (14,517)

ENEA – Progetto Solare termodinamico - [www.enea.it](http://www.enea.it)

Calcolo del BOS:

Perdite di potenza	5%
Perdite per riflessione	2%
Perdite per mismatching	3%
Perdite lungo le tratte DC	1%
Perdite sul sistema di accumulo	7%
Perdite nel gruppo di conversione statica	2%
Perdite per sporcizia, detriti e polveri	1%

Calcolo della potenza del campo FV  
Conoscendo:

- § Località (Santa Croce Camerina);
- § Irraggiamento medio annuo (1824 kWh/m<sup>2</sup>anno);
- § Irraggiamento medio giornaliero (3,47 kWh/m<sup>2</sup>giorno – per il mese di dicembre);
- § Perdite del sistema comprese quelle dovute ai componenti utilizzati (BOS – Balance Of System)(appendice FV).

È possibile calcolare il rendimento complessivo dell'impianto FV, che è dato dal prodotto del rendimento dei moduli fotovoltaici per il rendimento del sistema BOS:

$$\bullet \text{ BOS} = 80\%$$

$$\bullet \text{ FV} = \bullet \text{ BOS} \bullet \text{ modulo}$$

$$\frac{\text{carico giornaliero}}{\text{heq} \times 1/\bullet} = 110/3,47 \times 1/0,8 = 40\text{kWp}$$

Al fine di effettuare un investimento più conveniente, per evitare un sovradimensionamento del campo fotovoltaico, si è ritenuto di prendere in considerazione come media ore equivalenti giornaliere 5 corrispondenti ad una potenza del campo di 30kWp. Tenendo in considerazione uno 0,35% kWh/anno come perdita di efficienza, possiamo calcolare la potenza totale del campo FV:

$$E_{el} = \text{numero (moduli)} \times W_p \times h_{eq} \times \bullet \text{BOS} \times 365 = 44.420 \text{ kWh/anno (primo anno)}$$

Sistema di accumulo:

§ Autonomia in completa assenza di sole per 4 giorni	4
§ Rendimento accumulatori	65%
§ Capacità di accumulo	674 kWh
§ Tensione di esercizio	24 Volt
§ Tensione di esercizio di ogni elemento	2 Volt
§ Numero di elementi	12
§ Batterie da (carico Wh/Volt di esercizio)	28100 Ah

## TAVOLE

---